FOR THE PEOPLE
FOR EDVCATION
FOR SCIENCE

LIBRARY
OF
THE AMERICAN MUSEUM
OF
NATURAL HISTORY

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

5.06(49.3)

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE

TOME XXVIII — 20 JUILLET 1920

(TRENTE-NEUVIÈME ANNÉE ; TOME LXXVIII DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(M. F. Willaert)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11

1920

22.58520 June 27

LA
CHIMIE DE GUERRE
DE 1914 A 1918 (1)

Le rôle des sciences expérimentales pendant la dernière guerre a été tellement important qu'il semble utile d'en présenter ici un exposé succinct, malgré l'aridité des détails techniques.

C'est la première fois dans l'histoire qu'apparaît la *Chimie de guerre*. Et si, malheureusement, des événements semblables venaient à se reproduire, son influence dans l'art militaire deviendrait encore plus grande.

Cette chimie de guerre a nécessité dans les nations alliées et associées un développement industriel tout spécial, effectué avec une extraordinaire rapidité. Le rendement des efforts mis en œuvre a été très élevé parce que dans tout le personnel, depuis les plus modestes ouvriers jusqu'aux ingénieurs et aux chimistes les plus instruits, il y avait une admirable unanimité de dévouements et de bonnes volontés. Les résultats obtenus par ce travail intense qui ne s'est arrêté qu'en novembre 1918 ont contribué pour une bonne part à la victoire.

(1) Conférence donnée le 15 avril 1920 à la *Société scientifique de Bruxelles*. Une première communication sommaire avait eu lieu en novembre 1919 et a été insérée dans les ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, 1919-1920, 2e fascicule, p. 115.

I. LA GUERRE DES GAZ

Par les actes de La Haye, du 19 juillet 1899, toutes les nations européennes s'étaient interdit l'emploi de projectiles ayant « pour but unique de répandre des gaz asphyxiants ou délétères ».

Mais, de même que pour la neutralité de la Belgique, ce n'était pour les Allemands qu'un « chiffon de papier ».

En avril 1915, des nuages vert-jaunâtres furent envoyés par nos ennemis sur les troupes anglaises, françaises et belges. La première attaque par les gaz eut lieu non loin d'Ypres, entre Bixschote et Langemarck. Les Allemands espéraient ainsi arriver par surprise à percer nos lignes : ils n'y réussirent pas, quoique ayant fait de nombreuses victimes : d'après eux, environ six mille soldats britanniques furent tués dans cette attaque.

Depuis cette époque, les agressions par les gaz ont été presque continuelles. Elles ont eu lieu avec des corps très divers, souvent plus ou moins mélangés les uns aux autres : tout le domaine de la chimie organique avait été exploré par l'ennemi, car il tenait absolument à nous surprendre. L'envoi des gaz délétères avait lieu de deux manières : par nappes lancées sur un front considérable au moyen de projecteurs, tels que des siphons de chlore liquéfié analogues aux cylindres d'acide carbonique utilisés dans les débits de bière : mais le plus souvent au moyen d'obus chargés de substances nocives qui étaient dispersées par l'éclatement des obus munis d'explosifs. L'envoi de nappes de gaz délétères était subordonné à la situation météorologique : il exigeait un vent favorable : si le vent changeait, il en résultait la perte des pionniers chargés de lancer les gaz. Aussi l'emploi d'obus a-t-il été le plus fréquent.

On s'est également servi de projectiles d'artillerie de tranchées *(Minen)* remplis de corps nocifs : ils avaient l'avantage de présenter une grande capacité. En employant simultanément un nombre important de ces engins dirigés sur un même objectif, on arrivait à réaliser à la fois l'effet de surprise et une forte concentration de gaz, susceptible de causer de grandes pertes à l'ennemi.

Les troupes alliées furent au premier moment désorientées par cette guerre nouvelle. Mais on arriva assez rapidement à *reconnaître* les corps délétères employés, à s'en *préserver*, et enfin à en *fabriquer* de manière à rendre avec usure à l'ennemi le mal qu'il nous avait fait.

Ce sera l'honneur de la France et de ses alliés, dans ces circonstances critiques, de n'avoir fait qu'appliquer le principe de la légitime défense. Je me rappelle toujours la séance de la Commission supérieure de l'Académie des Sciences pour la chimie où l'on émit l'avis qu'il fallait produire les mêmes corps que les Allemands employaient, mais n'en prendre d'autres plus dangereux, tels que l'acide cyanhydrique ou les produits arsenicaux, que lorsqu'ils les auraient eux-mêmes employés. On se trouvait obligé de résoudre des problèmes tout à fait nouveaux et de les résoudre d'urgence, car dans cet ordre d'idées rien n'avait été préparé par les alliés. Problèmes d'autant plus difficiles que la France et l'Angleterre possédaient beaucoup moins de chimistes que l'Allemagne et que la plupart d'entre eux avaient été mobilisés : par exemple, M. Grignard, un de nos chimistes les plus éminents, dut être rappelé de Brest où il servait comme caporal infirmier.

Détermination des corps nocifs. La première difficulté était de recueillir les gaz envoyés par l'ennemi. Pour les nappes, on se servit d'aspirateurs. Pour les obus, ce qui était le cas le plus fréquent, on profita des obus non éclatés et l'on préleva leur contenu.

Les pharmaciens et médecins militaires sur le front, avec divers auxiliaires, se chargèrent de cette tâche difficile, souvent dangereuse.

Il fut décidé, d'après l'avis de la Commission de l'Académie des Sciences, que les échantillons seraient tous envoyés au laboratoire municipal de Paris dirigé par M. Kling et là, divisés en plusieurs parties destinées aux études chimiques, physiologiques et thérapeutiques. La détermination de la nature chimique fut confiée simultanément à deux laboratoires indépendants et tout à fait distincts qui se contrôlaient l'un l'autre : c'est qu'en effet plusieurs des corps nocifs étaient très peu employés et très peu connus, et presque personne ne les avait maniés.

On arriva ainsi à reconnaître une trentaine de corps successivement et quelquefois simultanément employés.

D'abord le chlore, ayant servi pour les premières attaques. Il était naturel qu'il fût choisi, car depuis longtemps on vendait en Allemagne le chlore liquéfié dans des cylindres en fer : en France, quand nous en avions besoin, nous le faisions venir d'Allemagne.

Presque en même temps que le chlore :

bromure de benzyle ($C_6H_5 — CH_2Br$) :
bromacétone ($CH_3 — CO — CH_2Br$), suffocant et lacrymogène :
chloroformiate de chlorométhyle ($ClCO_2 — CH_2Cl$) :
chlorosulfate de méthyle ($SO_3H — CH_2Cl$) :
ces deux corps suffocants :
bromo-méthyl-éthyl-cétone $CH_3—CO—CHBr(CH_3)$

mais plus souvent le *phosgène* ou oxychlorure de carbone $COCl_2$ (collongite) que les Allemands fabriquaient également avant la guerre dans des cylindres métalliques à cause de son usage pour quelques synthèses industrielles de chimie organique : ce corps extrêmement dangereux était souvent employé en dissolution.

A partir de 1917, d'autres corps furent envoyés,

non seulement suffocants, mais souvent sternutatoires, et enfin, en 1918, tout à fait toxiques :

chloropicrine $C^{I}Cl_3(NO_2)$, sorte de chloroforme nitré;

produits arsenicaux, tels que la dichloroéthylarsine et le cyanure de diphénylarsine.

Mais surtout l'*ypérite*, la terrible ypérite, employée à partir de juillet 1917 : corps que presque aucun chimiste n'avait manié, sulfure d'éthyle dichloré

$$S\begin{cases} CH_2 - CH_2Cl \\ CH_2 - CH_2Cl \end{cases}$$

à la fois suffocant, lacrymogène et vésicant.

Nos chimistes ne mirent que six jours à la caractériser. Ce qui la rendait terrible, c'était son manque d'odeur et l'absence de douleurs immédiates, mais des brûlures se produisant au bout de 4 à 10 heures, puis des démangeaisons et des suffocations : il en résultait souvent de la bronchite et de la broncho-pneumonie; les tissus étaient traversés par l'ypérite ; si elle atteignait le sol ou les tranchées, elle y restait adhérente, exerçant son action sur les hommes qui venaient s'y asseoir, même huit jours après.

Un secrétariat interallié fut créé en décembre 1917 pour coordonner toutes les études chimiques; le délégué de la Belgique était le Capitaine Renard.

Modes de protection. Les gaz délétères étant reconnus, on chercha tout de suite à protéger nos troupes contre leurs effets. Le mode de protection alla en se développant et en se perfectionnant d'après l'expérience et suivant la nature des gaz lancés par l'ennemi.

Dans les premiers temps, c'était surtout du chlore qu'il fallait se préserver. On donna aux combattants, dans les premiers moments, de l'ammoniaque, puis des tampons imprégnés d'hyposulfite de soude mêlé de carbonate : ces tampons se posaient sur le nez et sur la bouche.

Quand vinrent les nuages de phosgène (oxychlorure de carbone), on prit des tampons imprégnés de sulfanilate de soude avec urotropine.

Contre l'acide cyanhydrique, on adopta l'acétate de nickel.

Finalement, en présence de la diversité des corps agressifs, on employa des masques avec deux ouvertures correspondant aux deux yeux et faisant corps avec le masque, en les fermant par une sorte de celluloïde transparent, la cellophane, acétate particulier de cellulose.

Ces masques étaient polyvalents, c'est-à-dire pouvaient s'appliquer à des corps différents. Leur partie essentielle était une série de gazes trempées dans un réactif chimique approprié et par lesquelles était forcé de passer l'air inspiré. On en vint à superposer jusqu'à *treize* gazes dans un masque. Entre plusieurs d'entre elles, on plaçait de petits granules d'un charbon particulier, choisi après de longues études et préparé par un chauffage vers 650° en vase clos : c'est surtout pour l'ypérite que ce charbon était efficace comme absorbant des gaz.

La forme des masques varia. A la fin, on préféra un masque fermant complètement le visage, attaché solidement sur la tête par des rubans et muni à la partie inférieure d'une sorte de muselière contenant les étoffes préservatrices à travers lesquelles on respirait.

Naturellement tout le monde dut se faire couper la barbe. Au premier avertissement, les soldats devaient mettre leur masque. Ils pouvaient le garder plusieurs heures sans entraver leurs exercices habituels.

Pour leur donner confiance et les habituer aux odeurs dont ils pourraient avoir à souffrir, on les avait préalablement fait entrer avec leurs masques dans une salle contenant en proportion soigneusement dosée un gaz délétère tel que le chlore.

Des milliers de personnes étaient occupées en France à cette fabrication, surtout dans la région lyonnaise : douze mille environ.

Pour le dernier modèle de masque définitivement adopté, on fabriqua, de novembre 1917 à novembre 1918, 5 270 000 exemplaires.

Les chevaux eux-mêmes furent munis de masques.

Pour protéger contre l'ypérite recouvrant le sol, très dangereuse quand on s'y reposait seulement un instant, on reconnut qu'une solution de chlorure de chaux était très efficace.

Études physiologiques. Des études physiologiques et médicales se poursuivaient en même temps que les études chimiques. Elles sont tellement en dehors de ma compétence que je ne fais que les mentionner. Je citerai seulement une preuve de l'activité de ces recherches : au laboratoire de physiologie du collège de France, on sacrifia *seize mille* chiens pour se rendre compte des effets des gaz délétères : un assez grand nombre de chevaux furent aussi sacrifiés, surtout pour l'ypérite.

L'action des corps nocifs sur les différents organes fut soigneusement étudiée : avec la plupart d'entre eux les cellules des poumons sont comme noyées dans ces corps et l'on périt surtout par le manque d'oxygène qui ne peut plus arriver suffisamment aux cellules.

Fabrication des produits agressifs. Dès le premier moment, on chercha en France, en Angleterre, et ensuite aux Etats-Unis, à rendre aux Allemands leurs attaques chimiques : c'était le cas de légitime et nécessaire défense. Mais tout était à créer.

Les chimistes et les chefs d'industrie s'y employèrent avec un dévouement admirable, malgré les dangers résultant de ces fabrications.

Pour le *chlore,* on songea naturellement à la production électrolytique au moyen du sel marin, chlorure de sodium. Rappelons qu'une solution de sel étant

décomposée par un courant électrique, si l'on met un diaphragme poreux séparant les deux électrodes, on a au pôle négatif de la soude caustique et au pôle positif du chlore.

Quelques usines de soude électrolytique existaient en France avant la guerre dans la région des Alpes où l'énergie électrique est fournie par les chutes d'eau. Mais elles gagnaient péniblement leur vie, l'une des difficultés économiques étant l'utilisation du chlore. Son emploi comme agressif développa beaucoup cette industrie ; à partir de 1916, de nouvelles usines se fondèrent : en 1918, il y avait 18 usines électrolytiques.

On fit une vingtaine d'émissions de chlore contre les Allemands, quelques-unes sur 8 kilomètres de front : chacune avec six mille bouteilles de chlore, correspondant à 240 000 kilogrammes : leurs effets délétères se firent sentir jusqu'à 12 et 15 kilomètres.

Pour le *phosgène*, oxychlorure de carbone *(collongite)*, on arriva à en fabriquer 15 800 tonnes. On le produisit surtout en faisant agir le tétrachlorure de carbone sur l'acide sulfurique très concentré (oleum), en aidant la réaction par un catalyseur, tel que la terre d'infusoires. On le préparait aussi par la combinaison directe du chlore avec l'oxyde de carbone très pur sous l'influence d'un catalyseur, généralement du charbon de bois. On l'emmagasinait dans des cylindres métalliques, comme l'acide carbonique ou le chlore, en le refroidissant à très basse température.

La *chloropicrine* n'est autre que le dérivé nitré du chloroforme $CCl_3(NO_2)$; pratiquement, elle était obtenue par l'action du chlorure de chaux sur l'acide picrique.

On en fabriqua 490 tonnes.

L'*acroléine*, aldéhyde acrylique ($CH_2{=}CH{-}COH$) fut employée surtout pour le chargement des grenades. On la produisit par la déshydratation de la glycérine au moyen du bisulfate de potasse.

On en fabriqua 200 tonnes.

Je passe sur la fabrication des autres produits agressifs, parce que leur emploi a été moins développé, et j'arrive au plus important, le plus terrible, l'ypérite.

L'*ypérite*, sulfure d'éthyle dichloré $S\left\langle\begin{matrix}CH_2 - CH_2Cl\\ | \\ CH_2 - CH_2Cl\end{matrix}\right.$ est un corps qu'à vrai dire presque aucun chimiste n'avait vu ni manié. Découvert en 1860 par Guthrie, chimiste anglais, il avait été préparé et étudié en 1886 par Victor Meyer. Il ne distille qu'à 218°; ce n'est donc pas un gaz à la température ordinaire, mais mêlé à un dissolvant tel que le chlorure de carbone CCl_4, il devient plus volatil et se répand facilement dans l'atmosphère, étant disséminé d'ailleurs par l'éclatement des obus.

On arriva à le fabriquer facilement par un procédé meilleur que celui des Allemands, en traitant le chlorure de soufre par l'éthylène sous pression vers + 50° :

$$SCl_2 + 2\begin{matrix}CH_2\\ | \\ CH_2\end{matrix} = S\left\langle\begin{matrix}CH_2 - CH_2Cl\\ CH_2 - CH_2Cl\end{matrix}\right.$$

L'éthylène nécessaire à cette fabrication était le plus souvent obtenu par une méthode de catalyse, fondée par MM. Sabatier et Senderens : l'alcool passant sur un catalyseur tel que du kaolin donnait de l'éthylène.

Cette fabrication eut lieu à la fois en France, en Angleterre et aux États-Unis.

En France, on avait réussi à faire 30 tonnes d'ypérite par jour et on allait arriver à 80 tonnes.

De mars 1918 au 11 novembre 1918, date de l'armistice, la France en avait fait en tout près de 2000 tonnes et l'on avait chargé en ypérite 2 170 000 obus de 75^{mm}, 90 000 de 105, 142 000 de 155. A la fin de la guerre, les 3/4 des obus étaient chargés de corps nocifs, principalement d'ypérite.

II. LA CHIMIE DES EXPLOSIFS

Les applications de la chimie à l'art militaire, de 1914 à 1918, ne se sont pas bornées à la guerre des gaz, ce fait nouveau introduit par les Allemands. Elles ont été également très importantes pour triompher des difficultés survenues dans la fabrication des explosifs. Cette industrie spéciale était parfaitement organisée, mais rien n'y avait été prévu pour une guerre aussi longue. Les installations nouvelles réalisées au cours des hostilités dans les poudreries nationales permirent de fabriquer environ 20 fois plus de poudre qu'en 1914, où la quantité réglementaire était cependant déjà de 24 tonnes par jour. Le personnel employé à la fabrication des poudres, qui était de onze mille personnes en 1914, avait été porté en 1918 à cent vingt mille.

Les efforts considérables qui sont devenus ainsi nécessaires nous introduisent dans une branche toute spéciale de la chimie industrielle moderne. Je citerai seulement ce qui a été fait pour la mélinite et pour la poudre proprement dite. Je ne fais que mentionner l'emploi, pour les grenades et mortiers de tranchées, des poudres fondées sur l'emploi des perchlorates, quoiqu'elles aient pris un assez grand développement.

Mélinite. La mélinite, employée pour faire éclater les obus au moment de leur chute est, comme on sait, de l'acide picrique fondu : l'acide picrique est un dérivé trinitré du phénol C_6H_6O, soit $C_6H_3(NO_2)_3O$, et le phénol lui-même dérive de la benzine C_6H_6. Le phénol peut d'ailleurs être remplacé par son homologue supérieur, le crésylol, c'est-à-dire par un corps qui en diffère par CH_2 : et le crésylol dérive du toluène au même titre que le phénol dérive de la benzine.

En 1914, le service de l'artillerie considérait le stock de mélinite existant comme suffisant. La guerre se

prolongeant, il fallut en fabriquer de nouvelles quantités considérables.

Mais alors surgit une grande difficulté : le manque de matière première, c'est-à-dire de phénol. Le phénol se retire des goudrons de gaz où il est mélangé avec la benzine et d'autres hydrocarbures. Or, en France, jusqu'ici, on faisait bien l'extraction de la benzine et l'on en avait d'assez grandes quantités, mais le plus souvent on négligeait l'extraction du phénol ; elle ne se faisait guère qu'en Allemagne. Il fallut donc fabriquer le phénol industriellement, à partir de la benzine, par un procédé qui n'était guère employé que dans les laboratoires : changement de la benzine par l'acide sulfurique en un dérivé sulfoné, puis décomposition de ce dérivé sulfoné par un alcali. Il paraît qu'environ un tiers du phénol employé pendant la guerre fut ainsi fabriqué par synthèse.

Une autre ressource assez importante fut fournie par les pétroles de Bornéo qu'on faisait venir en France en assez grande quantité et qui, contrairement aux autres, contiennent du toluène qu'on peut en séparer facilement : de ce toluène on peut passer par nitration directe au trinitro-toluène *(tolite)*, qui a les mêmes propriétés que la mélinite comme explosif.

Enfin la mélinite fut remplacée souvent par la *schneidérite,* mélange d'azotate d'ammoniaque et d'un comburant tel que la dinitro-naphtaline.

Pour tous ces explosifs, le réactif essentiel est l'acide azotique, de même que pour la poudre proprement dite. Nous verrons tout à l'heure comment on a cherché à résoudre les difficultés survenues pour l'avoir en quantité suffisante.

Poudre proprement dite. Mais l'arme fondamentale de la guerre moderne est la poudre proprement dite. Avant les hostilités sa fabrication était assurée en France par dix poudreries de l'État, dirigées par une trentaine

d'ingénieurs spéciaux formant le corps des Ingénieurs des Poudres sortant de l'École Polytechnique.

On sait qu'en France on se sert exclusivement maintenant de la poudre B (poudre sans fumée), due à M. Vieille, et que la matière première en est le coton ou cellulose. La partie chimique de cette fabrication consiste à changer la cellulose en nitrocellulose ou plutôt en un mélange de deux nitrocelluloses distinctes et bien définies : on se sert pour cela d'un mélange d'acide azotique et d'acide sulfurique. L'acide sulfurique est nécessaire pour maintenir la concentration ; il doit contenir moins d'eau que l'acide ordinaire : c'est l'*oleum*, obtenu généralement aujourd'hui par le procédé de contact, réaction de l'acide sulfureux sur l'oxygène de l'air en présence d'un catalyseur, qui est du platine disséminé dans un sel lui servant de support.

Or, pour ces diverses matières premières on pouvait craindre d'être pris au dépourvu ; cette question, en pleine guerre, était vraiment angoissante.

D'abord pour le *coton*, qui vient des pays d'outre-mer, on craignait que les arrivages ne manquassent ou ne diminuassent énormément par suite des attaques des sous-marins allemands. En fait, on en eut suffisamment jusqu'à la fin de la guerre : seulement, dans les derniers mois, on faisait venir des États-Unis de la poudre toute faite, fabriquée conformément aux instructions de nos Ingénieurs des Poudres.

D'ailleurs, pour n'être pas pris au dépourvu, on avait envisagé l'emploi de la pâte à papier comme pouvant remplacer le coton pour obtenir la nitrocellulose destinée à la fabrication de la poudre.

L'acide *azotique* avait toujours été retiré jusqu'ici de l'azotate de soude naturel du Chili. Mais on pouvait craindre que les sous-marins allemands n'arrivassent à entraver complètement les transports. En fait, cette suppression des arrivages d'azotates naturels n'eut

lieu qu'à la fin de la guerre et dans une proportion très restreinte. Seulement, pour parer à toute éventualité, on dut tout préparer pour faire en France de l'acide azotique par synthèse, en s'affranchissant de l'importation des azotates naturels, et un tiers environ de l'acide employé provint des procédés de synthèse.

Après une étude attentive, les Ingénieurs des Poudres optèrent pour la fabrication fondée sur l'emploi de la cyanamide, provenant elle-même du carbure de calcium. On sait que le carbure de calcium CaC_2, découvert par Moissan, se produit facilement par la réaction du charbon sur la chaux sous l'influence de l'arc électrique. Plusieurs usines en fabriquaient couramment dans la région des Alpes en utilisant les chutes d'eau pour produire l'énergie électrique : dès lors il n'y avait qu'à les développer. Le carbure de calcium CaC_2 traité par l'azote pur vers la température de 900° donne la cyanamide CN_2Ca. L'azote pur est le plus souvent obtenu par la liquéfaction de l'air d'après le procédé Claude, suivi d'une distillation fractionnée. La cyanamide, par l'action de l'eau sous pression vers 180°, fournit l'ammoniaque :

$$CN_2Ca + 3H_2O = CO_3Ca + 2NH_3$$

Enfin l'ammoniaque passant avec de l'air sur du platine chauffé vers 300°, agissant comme catalyseur, fournit l'acide azotique ou plutôt du bioxyde d'azote qui peut ensuite être facilement changé en acide azotique : c'est la réaction classique de Kuhlmann. Elle s'exécute facilement, sans exiger de trop grandes quantités de platine, qui théoriquement reste intact. Dans les dernières années de la guerre, une usine considérable recouvrant cinquante hectares, avait été installée par le service des poudres pour appliquer ce procédé de synthèse. Mais déjà l'industrie privée l'avait mis en

train dans un grand nombre d'usines de nos régions montagneuses.

On avait aussi produit une certaine quantité d'acide azotique par synthèse au moyen de l'union directe de l'azote et de l'oxygène de l'air sous l'influence de l'arc électrique, comme on le fait en Norwège (Birkeland et Eyde). Une usine avait été installée dans ce but dans les Pyrénées, à Soulon.

L'acide azotique expédié de Norwège à l'état d'azotate d'ammoniaque, a rendu de très grands services. Il servait à la fabrication de la schneidérite, mélange d'azotate d'ammoniaque et d'un comburant tel que la dinitro-naphtaline.

Quelques industriels avaient essayé le procédé Haber, très employé par les Allemands : union directe de l'azote et de l'hydrogène sous l'influence d'un catalyseur tel que le fer ou le ferro-tungstène ou le ferro-molybdène vers 600° sous une pression de 200 atmosphères ; l'ammoniaque ainsi produit étant changé ensuite en acide azotique en le faisant passer avec de l'air sur du platine vers 300° d'après la réaction de Kuhlmann. Ce mode de production de l'ammoniaque a été repris par M. Claude, depuis deux ans environ, dans des conditions qui donnent un rendement beaucoup plus considérable, grâce à une pression de près de mille atmosphères, vers la température de 600°.

Enfin l'azote de l'air peut être fixé par l'intermédiaire de l'aluminium (pratiquement, mélange de bauxite $Al_2O_3\,H_2O$ et de charbon) à très haute température : il l'absorbe en donnant un azoture ; celui-ci par l'action de l'eau donne de l'alumine et de l'ammoniaque (procédé Serpeck, exploité à Saint-Jean de Maurienne). Mais il ne semble pas que ce procédé ait beaucoup été utilisé pendant la guerre.

III. APPLICATIONS SCIENTIFIQUES DIVERSES

Si cet exposé ne risquait pas d'être démesurément allongé, on pourrait mentionner beaucoup d'autres applications des sciences expérimentales à l'art militaire pendant la guerre. Choisissons-en seulement quelques-unes.

Les *fumigènes* ont été extrêmement utiles pour la guerre, tant sur terre que sur mer. On produisait des nuages blancs qui masquaient la position exacte d'un navire de manière à en éviter le torpillage. Ils étaient obtenus par l'action de la vapeur d'eau de l'atmosphère sur certains chlorures métalliques volatilisés : chlorures de titane, d'étain et même de zinc.

L'*hélium*, ce gaz rare si curieux, commençait, au moment de l'armistice, à être employé pour les aérostats militaires. Il offre un grand avantage sur l'hydrogène, parce qu'il n'est pas inflammable. Sa densité est quatre fois plus forte que celle de l'hydrogène, mais il permet d'obtenir une force ascensionnelle très suffisante. Aux États-Unis, on était arrivé à le préparer, mais avec des dépenses considérables, en liquéfiant l'air émanant de certaines sources naturelles contenant jusqu'à $\frac{1}{2}$ ou 1 pour cent d'hélium, puis en le soumettant à des distillations fractionnées. On avait fabriqué ainsi, paraît-il, 1400 mètres cubes d'hélium. On comptait envoyer sur Berlin des aérostats de ce genre munis de bombes explosives.

La *métallurgie de l'acier* a pris d'énormes développements pendant la guerre, car après la bataille de la Marne, on manquait presque de projectiles. Au lieu de fabriquer treize mille obus par jour, comme il avait été prévu, on arriva en 1918 à deux cent cinquante mille : on produisait en même temps par jour 50 canons de 75.

Aucune découverte sensationnelle ne se rattache à ce travail intensif : il fallait aller au plus vite et les $\frac{8}{10}$ des usines métallurgiques de France, celles du Nord et de l'Est, étaient arrêtées.

Cependant beaucoup de progrès pratiques ont été réalisés : surtout la simplification des anciens procédés traditionnels du service de l'artillerie : ainsi on a admis le travail par le laminage au lieu de la presse ou du marteau-pilon : on a autorisé la fabrication des obus avec l'acier Thomas.

Mais en même temps on a reconnu la nécessité de diriger et de contrôler de plus en plus la fabrication dans des conditions de véritable rigueur scientifique : analyses chimiques et essais mécaniques très sérieux.

Signalons aussi une réelle augmentation dans la production de la fonte au four électrique.

Vers la fin de la guerre, plusieurs aciers spéciaux avaient pris beaucoup d'extension ; surtout l'acier Hadfield, au manganèse, dont une variété était employée pour les casques des soldats (13 pour cent de manganèse).

Le dur-aluminium (aluminium allié à 3,7 pour cent de cuivre et 0,5 de magnésium) était de plus en plus en faveur.

Si la présente étude n'était pas destinée spécialement à la chimie, nous aurions pu y comprendre les applications de la physique. Mentionnons dans ce sens :

la *balistique* des hautes régions de l'atmosphère 8 000 m. à 12 000 m.) où la faible densité de l'air diminue extraordinairement la résistance. M. le Comte de Sparre a pris une grande part à ces progrès dont profitera l'aéronautique civile ;

le *repérage par le son* des batteries ennemies ; en combinant les renseignements ainsi obtenus avec ceux

des avions et avec l'observation directe, on arrivait, grâce aux admirables cartes du service géographique de l'armée, à déterminer l'emplacement d'une batterie à environ dix mètres près ;

la *télégraphie sans fil* a fait pendant la guerre d'énormes progrès pratiques.

IV. UTILISATION EN TEMPS DE PAIX DES FABRICATIONS DE GUERRE

On peut se demander ce que deviendront les nombreuses installations réalisées rapidement et avec d'énormes dépenses pour la chimie de guerre. C'est un problème qui est à l'étude et qui n'est pas encore complètement résolu.

L'un des produits les plus importants des nouvelles fabrications est la cyanamide obtenue en vue de faire de l'acide azotique. On est en droit de supposer que la cyanamide survivra à la guerre et sera utilisée par l'agriculture, qui commence déjà à l'employer. En effet, la cyanamide, qui dans le sol humide se change peu à peu en ammoniaque, est un véritable engrais azoté à forte teneur en azote : elle en renferme 18 à 20 %, tandis que l'azotate de soude naturel du Chili n'en renferme que 15 ou 16 %. Son prix est, dit-on, moins élevé. Déjà avant la guerre on fabriquait de la cyanamide en Belgique. Sa production, très étudiée aujourd'hui, grâce précisément aux besoins de la guerre, est un des moyens de résoudre le problème capital de la *fixation de l'azote atmosphérique*.

L'acide sulfurique reprendra l'une de ses applications principales, la fabrication des superphosphates, si importante pour l'agriculture qui a beaucoup manqué d'engrais pendant ces dernières années. Mais le

développement donné à la fabrication de l'acide sulfurique très concentré *(oleum)*, par le procédé dit de contact, paraît devoir survivre à la guerre. S'il exige la présence du platine, il dispense de l'installation encombrante des chambres de plomb et il évite la concentration dispendieuse de l'acide à la densité de 53° Baumé obtenu dans les chambres.

Le chlore, fabriqué par l'électrolyse du chlorure de sodium, pourra être utilisé, non seulement pour faire du chlorure de chaux, mais pour faire du chlorure de carbone, de plus en plus employé comme dissolvant.

Pour les stocks restants des corps aggressifs, on a cherché déjà beaucoup d'emplois. Citons seulement l'utilisation de la chloropicrine, proposée par M. Piutti et par M. Gabriel Bertrand pour détruire les rats qui infestent les navires, ainsi que divers organismes produisant des maladies pour les végétaux.

Quant aux stocks d'ypérite, je ne vois guère autre chose à en faire que de la détruire, par exemple en la traitant par le chlorure de chaux.

Pour la poudre proprement dite, le stock est énorme (environ 60 000 tonnes), d'autant plus que, vers la fin de la guerre, les Américains avaient fait les plus grands efforts pour en fabriquer et que leurs bateaux en avaient déversé des milliers de tonnes dans les régions de Bordeaux et de Paimbeuf.

Pour conserver et loger tous ces stocks, on a installé des parcs spéciaux dans des régions peu habitées, celles des départements de la Creuse et des Landes. Pour diminuer les risques, on en conserve une grande partie par immersion dans l'eau. M. André Lefèvre a suggéré l'idée d'utiliser le froid produit gratuitement par les glaciers de nos montagnes, par exemple dans les lacs des Pyrénées où la température de l'eau reste à 4° ou 5° : en effet, si petites que soient les chances de décomposition de la poudre, elles sont beaucoup moindres à de très basses températures.

Les chimistes ont pu d'ailleurs utiliser pour des recherches personnelles, en vue d'accroître nos connaissances scientifiques, certains stocks de corps aggressifs qu'on leur a laissés, parce qu'ils les avaient étudiés pendant la guerre. M. Moureu a eu à sa disposition cent kilogrammes d'acroléine et a déterminé les conditions de sa stabilisation. M. Simon a eu une grande quantité de chlorosulfate d'éthyle et a fait déjà plusieurs publications à ce sujet.

Enfin les avions, dont on avait construit d'énormes quantités, seront certainement utilisés pour les trajets aériens, sans compter ceux qui sont réservés pour la défense militaire.

RÉFLEXIONS GÉNÉRALES

Tout cet ensemble d'applications si diverses des sciences expérimentales à l'art militaire, improvisées en grande partie pendant ces dernières années, a nécessité des dépenses formidables dont les pays alliés souffrent encore lourdement, surtout la France. C'est que, comme on le dit, « l'argent est le nerf de la guerre ». Il l'est aussi des recherches scientifiques. Leurs applications à la chimie de guerre ont démontré aux pays alliés la nécessité, pour le temps de paix, d'augmenter considérablement les ressources matérielles dont doivent disposer les savants pour les recherches originales. De là la protection accordée par les gouvernements aux associations scientifiques internationales dont l'organisation a été réglée en principe à Bruxelles.

Mais l'argent ne sert à rien sans les forces morales. Toute cette chimie de guerre a été l'œuvre de savants, d'industriels, d'ouvriers qui y ont mis toute leur énergie. On ne peut en nommer quelques-uns sans faire tort aux autres. Mais on doit reconnaître la vérité de

cette pensée que m'exprimait le maréchal Joffre que, chez les alliés, pendant cette terrible guerre, tout le monde a fait son devoir.

Ces applications de la science, avec leurs effroyables résultats meurtriers, montrent que si la science est bienfaisante pour les œuvres de paix, elle est non moins féconde pour les œuvres de guerre. Nous sommes ainsi bien loin de la prétention des intellectuels qui voulaient baser la morale sur la science et qui cherchaient à faire pénétrer cette idée dans les masses populaires. La science est une arme puissante, mais une arme dont on peut se servir pour faire le mal autant que pour faire le bien.

GEORGES LEMOINE,
membre de l'Institut de France.

NOTES BIBLIOGRAPHIQUES

Revue scientifique : 12 avril 1915, 12 juin 1919.

Correspondant : 10 avril 1917.

Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale : juin 1918, février 1919, juin 1919, juillet 1919, août 1919, janvier 1920 (synthèse de l'ammoniaque : expériences de MM. Guichard, Yavon, etc.).

Conférences de M. Haller, les 8 mai et 15 mai 1920, sur les poudres et matières explosives pendant la guerre.

La Revue : mars 1919 (industrie de l'azote).

Chimie et industrie, publication mensuelle de la Société de la chimie industrielle : décembre 1919 ; Colonel Vinet, la guerre des gaz ; avril 1920 : M. Lheune, le service des poudres pendant la guerre.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences : 14 avril 1919, 19 mai 1919, 7 juillet 1919 ; 1er décembre 1919 et 19 janvier 1920 (M. Claude : synthèse de l'ammoniaque).

Revue générale des Sciences : 15 avril 1919, 30 janvier 1910, 30 avril 1920.

Rapport général sur l'industrie française (1919), publication du Ministère du Commerce : 3 volumes.

Le monde illustré : 27 décembre 1919.

Société chimique de France : conférence de M. Pascal, le 30 avril 1920, sur la synthèse de l'acide azotique en partant de l'ammoniaque.

Revue scientifique : 12 juin 1920 (M. Moureu : les gaz de combat).

Industries chimiques en Allemagne pendant la guerre : Revue scientifique, 19 juin 1915 ; Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, juin 1918 ; Moniteur scientifique : juillet-août 1919.

Applications de la physique pendant la guerre, 1914-1918, par M. Vigneron (Masson, éditeur).

La météorologie aux armées : Revue scientifique, 12 juillet 1919.

LES IDÉES ACTUELLES

SUR LA

Constitution de la matière [1]

Quand je reçus de la part du Conseil de la *Société scientifique de Bruxelles* l'invitation infiniment flatteuse qui m'amène aujourd'hui au milieu de vous, je me demandai ce qui pouvait me valoir cet honneur. Peut-être me suis-je fait illusion, mais je me suis figuré que mon nom et mon adresse ne pouvaient être connus par les membres de votre Conseil que pour avoir été lus en tête d'un modeste essai de *Leçons de Physique selon les théories modernes* (2) auquel mes collègues firent un accueil dont la bienveillance me toucha vivement.

Quoi qu'il en soit, plus sensible à l'honneur qui m'échéait qu'à la crainte de rester inférieur à ma tâche, je ne crus pouvoir mieux répondre au désir de mon savant solliciteur qu'en résumant devant vous l'idée maîtresse de cet ouvrage. Non pas que j'aie la fatuité de croire que je vais apprendre du neuf à ceux d'entre vous qui s'adonnent spécialement à la physique, encore moins celle de m'attribuer une contribution personnelle aux séduisantes théories que je vais esquis-

(1) Conférence faite à Bruxelles à l'Assemblée générale de la Société scientifique de Bruxelles, le 14 avril 1920.

(2) J. Tillieux, *Leçons élémentaires de Physique expérimentale selon les théories modernes*, 1919, chez F. Ceuterick, rue Vital Decoster, Louvain; et *Essai d'un Traité de Physique selon les théories modernes*, 2e édition, 1919, chez Béranger, rue des Saints-Pères, Paris; et rue de la Régence, Liége.

ser ; mais peut-être en est-il parmi vous qui, forcément absorbés par leurs propres études, n'ont guère eu le loisir de se former une idée d'ensemble sur cette question assez complexe, ou qui, ayant lu l'énoncé de ces hypothèses, les ont prises pour d'ingénieuses fictions, espèce de poésie scientifique, sans base expérimentale solide. A ces derniers, si j'ai le bonheur d'atteindre mon but, je laisserai l'impression que ces théories sont des déductions, non pas inéluctables, j'en conviens, mais très plausibles cependant, d'un ensemble de faits dûment controlés, et que, par leur imposante cohérence et leur admirable fécondité, elles exercent sur l'esprit une attirance presque irrésistible.

Le vulgaire trouverait singulièrement oiseux de poser la question : Qu'est-ce que la matière ? Il demandera spontanément ce qu'est l'électricité, qu'il ne voit ni ne touche, mais il se figure avoir une idée très nette des corps matériels qu'il palpe, pour ainsi dire, par tous ses sens. Rien n'est plus préjudiciable au progrès des sciences que ces solutions simplistes qui endorment la curiosité et engendrent le repos ; et c'est peut-être à cause de cette fausse satisfaction de l'esprit que la nature intime des phénomènes les plus familiers, tels que la pesanteur, la cohésion, l'élasticité, reste encore plongée dans une si profonde obscurité.

I. LES MOLÉCULES

Il saute aux yeux des moins avertis que la matière pondérable est divisible en particules de plus en plus petites jouissant des propriétés essentielles de l'ensemble. Je brise ce morceau de craie en deux fragments ; j'en agis de même avec l'un d'eux, et ainsi de suite. Mécaniquement, je suis vite arrêté ; mais ne puis-je au moins mentalement continuer sans limite ces subdivisions ?

Sans doute, le philosophe mettra une barrière à mon essor, et me démontrera l'impossibilité d'un nombre infini de parties existant simultanément ; mais j'aimerais mieux entendre la voix, pour moi plus familière, de l'expérience ; et celle-ci, quand j'aurai épuisé les moyens mécaniques ou autres de fractionnement, interdira-t-elle, même à mon imagination, de pousser plus avant ? Consultons-la, et, dans ce but, soumettons à une énergique force désagrégeante, par exemple à une violente chaleur, nos morceaux de craie. Nous constatons que les propriétés bien connues de ce corps font place à d'autres, qui nous révèlent, sans aucun doute possible, la présence de deux corps déjà identifiés par ailleurs : la chaux vive et l'anhydride carbonique ; nous nous assurerons de plus que la somme des poids des corps ainsi formés est identique à celui de la craie disparue.

Il faut donc renoncer à concevoir une partie de craie infiniment petite : le fractionnement a une limite telle que, si on la dépasse, on obtient des parties, plus petites évidemment, mais qui ne sont plus de la craie : elles forment des corps spécifiquement différents. La plus petite partie de craie possible est la *molécule* de craie.

Cela ne nous dit pas, il est vrai, jusqu'où il faudra pousser la subdivision pour atteindre les dimensions de cette particule. Mais nous avons fait un premier pas, et non négligeable : nous marchons maintenant vers un terme dont nous sommes en droit d'affirmer l'existence, et nous allons nous évertuer à débrouiller les lois qui régissent ces éléments.

Tout d'abord, *les diverses molécules qui constituent un corps ne se touchent pas :* car tous les corps sont, quoique à des degrés divers, poreux et compressibles ; d'autre part *elles s'attirent :* car, lorsque je trempe mon doigt dans l'eau, une gouttelette — c'est-à-dire des myriades de molécules — y reste suspendue ; quand je tire un morceau de craie par un bout, le reste suit.

Comment concilier ces deux faits indéniables : attraction mutuelle et séparation ? On s'est tiré de là en admettant que les molécules sont parfaitement élastiques : de par leur attraction elles se précipitent les unes sur les autres, mais rebondissent en arrière à chaque collision, et *les chocs mutuels donnent lieu à une apparente répulsion*, qui contrebalance l'attraction. Mais dans quel monde étrange nous pénétrons ainsi ! Si paisible qu'il paraisse, quel champ de bataille que ce petit morceau de craie, dans lequel des milliards de milliards de molécules se bombardent silencieusement sans trêve ni repos ! N'est-ce pas sortir d'une contradiction pour entrer dans l'invraisemblable ? Car, me direz-vous, nos sens ne nous révèlent rien de ces mouvements internes. Directement, j'en conviens, et c'est naturel : ils ne sont pas construits pour observer à cette échelle. Mais pour peu que nous y regardions de plus près, un grand nombre d'indices nous parlent de ces agitations internes, comme les sourds ébranlements du sol nous rappelaient autrefois ces canons vengeurs qui, au delà d'une barrière qui se flattait d'être infranchissable, travaillaient à notre délivrance... Jugez-en : un grain de musc répand au loin son odeur, c'est-à-dire qu'il lance dans toutes les directions des particules de sa substance ; quelques gouttes d'eau versées dans un plat s'évaporent rapidement : les molécules superficielles, à la suite d'une collision, ont échappé à la masse et vont humidifier l'air ambiant ; les gaz s'étendent et diffusent ; et les phénomènes osmotiques, et le mouvement brownien, et les émanations radioactives et cent autres faits accusent presque indéniablement ces agitations. Or, vu le nombre énorme des molécules et l'espace restreint dans lequel elles évoluent, les chocs mutuels sont fatalement très nombreux, et leurs effets se traduisent par une répulsion apparente des molécules.

La contradiction est donc levée, et nous connaissons

les deux forces antagonistes qui règlent l'équilibre interne des corps : attraction newtonienne, et répulsion apparente résultant des chocs. Tout ce qui a pour effet d'augmenter l'énergie cinétique des molécules agrandit nécessairement cette répulsion et, par le fait même, le volume du corps (1). La chaleur est manifestement une énergie de ce genre, car, si je ne m'abuse, tous ses effets peuvent se ramener à des dilatations ; elle n'est donc objectivement autre chose que l'énergie totale des mouvements moléculaires, et on peut prévoir aussitôt qu'elle nous fournira le moyen infaillible — à condition que les molécules ne se brisent pas sous les chocs trop violents — de modifier l'état physique des corps : suivant que le mouvement des molécules sera vif, moyen ou faible, leur attraction mutuelle sera vaincue, équilibrée ou victorieuse, et le corps se présentera à l'état gazeux, liquide ou solide.

Je regrette que le temps dont je dispose ne me permette pas de m'attarder à ce premier stade de la divisibilité des corps et de vous décrire les méthodes à la fois si claires et si ingénieuses qui ont permis de calculer le nombre, le diamètre, la vitesse, le poids des molécules, la fréquence de leurs chocs, leur libre parcours moyen entre deux collisions et même la part qui, dans l'énergie cinétique de ces éléments, revient à leur rotation et celle qui résulte de leur translation. Dix procédés différents donnent sur chacun de ces points des résultats d'une impressionnante concordance (2).

Mais ces calculs sont relativement anciens et je veux, selon le titre de cette conférence, m'arrêter surtout au travail de ces dernières années. Cependant, de ces

(1) Nous n'insisterons pas ici sur l'anomalie de la glace et de quelques autres corps qui se contractent en se liquéfiant. On a proposé plusieurs explications plus ou moins satisfaisantes de ces cas isolés, qui ne peuvent ébranler la loi générale.

(2) Voir notamment J. Perrin, *Les atomes*. Librairie Alcan, Paris.

recherches, je dois retenir une conclusion que j'utiliserai dans quelques instants : pour évaluer le poids des molécules, il fallait choisir une unité appropriée ; il a semblé commode de prendre à cet effet la moitié du poids, de la molécule d'hydrogène : dans ces conditions, les poids des molécules d'hydrogène, d'eau, d'oxygène, de fer... sont respectivement égaux à 2, 18, 32, 112... Or Avogadro et Ampère eurent une conception vraiment géniale, dont les déductions furent si merveilleusement utiles à la science qu'il n'est plus, je pense, un physicien qui oserait la rejeter : *2 grammes d'hydrogène, 18 grammes d'eau, 32 grammes d'oxygène, 112 grammes de fer... (c'est-à-dire 1 molécule-gramme de ces corps) renferment le même nombre de molécules, à savoir 680 sextillions ou* 68×10^{22}. Des comparaisons seules peuvent nous donner quelque idée de ce nombre effrayant : si on pouvait occuper les sept millions de Belges, hommes, femmes et enfants, à compter, à raison de 2 par seconde, pendant 12 heures par jour, les molécules comprises dans 1 millimètre cube d'air, ils auraient de l'ouvrage tous ensemble pendant plus de cent ans !

II. LES ATOMES

Et les molécules elles-mêmes, sont-elles divisibles ? La question ne se pose même pas pour les *corps composés*, c'est-à-dire pour ceux dont on peut tirer plusieurs espèces de matières spécifiquement différentes ; telles sont l'eau, la craie, etc. Quant aux *corps simples*, comme l'hydrogène, le chlore, le fer, etc., tout chimiste vous dira qu'avec 1 molécule d'hydrogène et 1 molécule de chlore, il peut réaliser 2 molécules d'acide chlorhydrique renfermant chacune un élément hydrogène et un élément chlore. Donc la molécule de chacun de ces corps simples a dû se scinder en deux parties.

Des raisonnements analogues peuvent se faire pour la plupart des corps simples, et on a donné le nom d'*atome* à la plus petite des fractions d'un corps simple qui entrent dans la constitution d'une molécule. L'immense majorité des molécules de corps simples sont biatomiques.

Jusqu'en ces dernières années, il était légitime de mettre en doute la *permanence des atomes dans les composés chimiques* et de prétendre que, par exemple, lorsque l'hydrogène et l'oxygène se combinent pour former de l'eau, ces deux gaz cessent d'exister comme tels, et qu'une nouvelle essence, celle de l'eau, s'est substituée à la leur. Sans doute on pouvait répondre qu'il était facile de faire réapparaître ces gaz aux dépens de cette eau, et que la somme des masses des composants restait toujours égale à celle du composé : mais devait-on vraiment attacher tant d'importance à cette unique propriété constante, alors qu'on voyait se modifier la densité, la couleur, l'état physique, les propriétés chimiques, etc. ? Il fallait, on en conviendra, une foi robuste pour croire à la permanence d'atomes qui mettaient tant d'art à se dissimuler. Mais de nouveaux modes d'investigation furent imaginés, et l'on finit par déterminer toute une série de caractères, peu frappants il est vrai, mais absolument spécifiques de chaque atome et se conservant dans toutes leurs combinaisons ; c'était, si j'ose ainsi parler, leur empreinte digitale trahissant leur identité en dépit de tous les camouflages : tels, par exemple, la qualité de rayons de Röntgen qu'ils sont capables d'émettre et leur faculté d'absorption du rayonnement cathodique.

Nous chercherons plus tard à expliquer la raison intime des modifications si profondes que semblent subir les atomes, quand ils entrent en combinaison ; nous retiendrons dès maintenant que ces altérations, pour frappantes qu'elles soient, sont plutôt superficielles et que, comme des pigments bleus mélangés avec des

pigments jaunes conservent chacun leur couleur, quoique l'ensemble offre un aspect vert, de même les atomes perdurent, dans les combinaisons, essentiellement identiques à eux-mêmes, quoiqu'il faille y regarder à deux fois pour les y reconnaître.

Demandons-nous maintenant si les atomes sont figés dans une immobilité complète. La loi des masses de Guldberg et Waage, et surtout l'étude des solutions d'après Arrhénius indiquent que *les atomes passent très facilement d'une molécule à une autre, et que leur équilibre non plus n'est qu'un perpétuel voyage.* Ces mouvements ne peuvent être perçus directement, parce que notre œil, même armé des plus puissants microscopes, est un sens très grossier pour ces infiniment petits ; et, d'autre part, les propriétés générales des corps ne sont pas modifiées par ces déplacements, parce que tout départ est aussitôt compensé par une arrivée, de sorte que la physionomie de l'ensemble reste inaltérée.

III. EXISTENCE DE L'ÉLECTRON, UNITÉ NATURELLE D'ÉLECTRICITÉ

Je pose encore la question : l'atome est-il bien le dernier terme de la divisibilité de la matière, et les chimistes ne firent-ils pas preuve d'un enthousiasme et d'un empressement prématurés en le baptisant d'un nom qui signifie « insécable » ?

J'arrive ainsi au cœur de mon sujet, et, plus que jamais, je prends l'expérience pour flambeau directeur. Je fais passer un courant électrique à travers une cuve contenant une solution acide, basique ou saline. Le corps dissous est décomposé en ses éléments, et ceux-ci sont libérés autour des deux électrodes (1). Par exemple,

(1) Je fais abstraction des actions secondaires qui peuvent se produire entre les éléments dégagés et la matière des électrodes.

entre deux lames de platine, une solution d'acide chlorhydrique donne de l'hydrogène à l'électrode négative et du chlore à l'électrode positive. Je m'arrange maintenant de manière à recueillir dans des cloches les gaz ainsi libérés, et je poursuis l'expérience jusqu'à ce que j'aie obtenu 1 gramme d'hydrogène, soit, on s'en souvient, 680 sextillions d'atomes. Si mon courant est de 1 ampère, ce résultat sera obtenu après 96 540 secondes, ce qui revient à dire que la quantité d'électricité qui a traversé le bain est de 96 540 coulombs ; cela reste vrai quelles que soient la concentration et la température du bain et quelle que soit l'intensité du courant. Le transport de 1 gramme d'hydrogène est donc indissolublement lié au passage de 96 540 coulombs, et, comme il est à peu près évident que cette quantité d'électricité est répartie également entre les différents atomes d'hydrogène, l'on est amené à cette conclusion que chaque atome d'hydrogène véhicule une quantité d'électricité absolument déterminée et qui peut être évaluée. Puisque, nous l'avons dit, 1 gramme d'hydrogène contient 680 sextillions d'atomes, chacun de ceux-ci porte la 680 sextillionième partie de 96 540 coulombs, soit 140 sextillionièmes de coulomb. Ce nombre est à retenir.

Dans une nouvelle expérience, nous remplacerons le liquide de notre cuve par une solution d'un sel quelconque d'un métal monovalent : il se formera sur la cathode un dépôt de ce métal, et, si nous mesurons le poids déposé après que 96 540 coulombs ont traversé ce bain, nous constaterons que ce poids est un nombre de grammes précisément égal au poids atomique de ce métal : c'est-à-dire que 680 sextillions d'atomes métalliques ont été déposés. Donc chacun d'eux porte exactement la même quantité d'électricité que l'atome d'hydrogène.

Si le bain contenait un sel d'un métal bivalent, tri-

valent, tétravalent..., on verrait de même que la quantité de métal déposée, quand 96540 coulombs ont traversé le bain, est maintenant la moitié, le tiers, le quart... de 680 sextillions d'atomes. Donc chacun de ceux-ci porte, cette fois, 2, 3, 4... fois la charge d'un atome d'hydrogène.

Il existe donc une unité naturelle d'électricité : celle que porte l'atome de tout corps monovalent ; on trouve des multiples de cette unité chez les atomes polyvalents, mais jamais l'électrolyse n'en a révélé de sous-multiple. A cette unité on a donné le nom d'*électron*.

Mais on pourrait se demander si nous ne nous sommes pas égaré en dehors de notre sujet. Pour nous en assurer, *recherchons si cet électron a nécessairement un atome complet comme support, s'il ne peut voyager isolément.*

IV. ÉTAT GRANULAIRE DE L'ÉLECTRON

Le passage du courant électrique à travers les gaz raréfiés va fournir un premier élément de réponse à cette question. Dans un tube de verre, soudons deux petits plateaux métalliques, que nous maintiendrons à des potentiels très différents ; au moyen d'une pompe pneumatique nous y ferons régner un vide de plus en plus parfait. Après avoir assisté au brillant phénomène de Geissler, nous verrons les lueurs s'affaiblir petit à petit, et finalement nous n'observerons plus à l'intérieur du tube qu'une pâle lueur filiforme qui se propage, non plus du pôle négatif au pôle positif, mais en ligne droite, perpendiculairement au pôle négatif ou cathode, quel que soit l'emplacement du pôle positif. Ce faisceau a reçu pour ce motif le nom de *faisceau cathodique* ; il manifeste son énergie de diverses façons : il échauffe,

culbute et perce les obstacles ; il illumine la plupart des corps qu'il frappe : le verre, notamment, prend sous son souffle enflammé la belle lueur verte bien connue de ceux qui font de la radiographie.

Par quel mécanisme cette énergie se propage-t-elle? Nous ne connaissons que deux moyens de transport d'énergie : d'abord la *convection*, ou translation des éléments actifs : telle l'énergie des cours d'eau, des vents, des projectiles ; ensuite la *radiation*, ou vibration d'un milieu élastique : telle l'énergie du son, de la lumière, de la chaleur rayonnante. A quelle catégorie se rattache la propagation du faisceau cathodique ? L'école allemande, avec Lenard en tête, opinait pour la vibration ; l'école française, menée par Perrin, trancha la question d'une façon décisive en faveur de la convection. Pour saisir la portée de la magnifique expérience de Perrin, recourons à une analogie familière.

Un canari est enfermé dans une cage à barreaux de bois, matière isolante pour le courant électrique ; faisons éclater à proximité l'étincelle d'une puissante machine statique : à chaque décharge une violente commotion agite le petit animal, victime par influence de la brusque variation de potentiel : c'est une espèce de choc en retour. Donc les barreaux « isolants » laissent passer ces perturbations électriques.

Recommençons l'expérience, notre oiseau étant maintenant encagé entre des barreaux de cuivre, bons conducteurs du courant électrique : cette fois les décharges de la machine statique ne l'impressionnent plus du tout ; si même de fortes étincelles éclatent sur la cage, il ne subit aucune commotion électrique; il est parfaitement cuirassé. *Les parois métalliques, même imparfaites, constituent un obstacle infranchissable à tout phénomène d'influence :* nous n'avons fait que reproduire l'expérience classique de la cage de Fara-

day. Mais notre canari, ainsi protégé, est-il absolument invulnérable à *toute* décharge électrique ?

Non, il reste un moyen, et un seul, de l'atteindre : nous électriserons fortement de petites balles de sureau et nous les projetterons entre les barreaux, de telle sorte qu'elles atteignent le canari *sans toucher les barreaux :* chacune d'elles se déchargera sur l'oiseau.

C'est d'une façon analogue que Perrin traite le problème proposé : son tube vide d'air contient, face à la cathode, une cage métallique obturée par une mince feuille d'aluminium *a b* et renfermant elle-même une petite plaque reliée à un électroscope (fig. 1). Cette

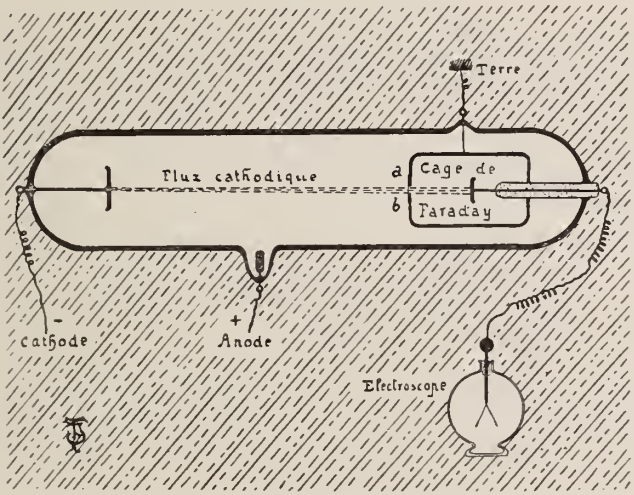


Fig. 1.

plaque est ainsi, comme notre oiseau dans sa cage métallique, soustraite à tout phénomène d'influence électrique : même une décharge directe sur les parois de la cage laisserait l'électroscope absolument insensible.

Or, dès que l'on fait naître le faisceau cathodique,

l'électroscope accuse une charge négative. Il n'y a qu'un moyen, un seul, d'expliquer ce fait expérimental : admettre que *de petites particules électrisées négativement ont été lancées par la cathode* entre les barreaux de la cage, je veux dire entre les mailles du réseau moléculaire de la petite feuille mince *a b*.

La nature granulaire du courant électrique est donc indiscutablement établie dans le cas de la décharge à travers les gaz raréfiés.

V. MASSE, CHARGE ET VITESSE DES PARTICULES CATHODIQUES

Et comme il serait intéressant maintenant de connaître la masse, la charge électrique et la vitesse de ces particules! J. J. Thomson osa s'attaquer à ces problèmes en apparence insolubles, et, chose admirable, avec le concours de ses élèves, C.-T. et H.-A. Wilson, il y réussit.

Pour donner une idée de leur méthode, je fais encore appel à une analogie : j'imagine un petit canon dont l'âme est parfaitement horizontale. Ses projectiles sont animés simultanément de deux mouvements, dont la composition donne lieu à la trajectoire parabolique, et dont la mécanique, basée sur l'expérience, démontre la parfaite indépendance : un mouvement *horizontal* résultant de la force propulsive de la poudre et un mouvement *vertical* dû à la pesanteur du projectile. En faisant abstraction de la résistance de l'air, on calculera donc avec une extrême facilité la déviation D que le projectile subit vers le bas après un parcours déterminé : il suffira de lui appliquer les lois de la chute des corps, et on en déduira aussitôt que l'importance de cette déviation dépendra de trois variables :

la *force de la pesanteur* à l'endroit de l'expérience, la *masse du projectile* et enfin sa *vitesse* (1).

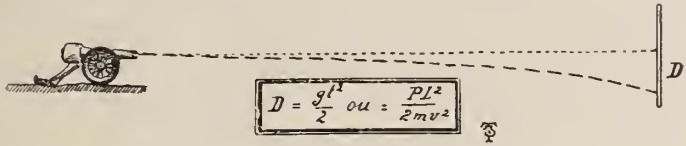


Fig. 2.

Transposons notre analogie en remplaçant notre bouche à feu par la cathode et notre projectile par une particule cathodique. Il s'agit de trouver une force déviante agissant sur celle-ci comme la pesanteur le faisait sur notre projectile, car l'action de la pesanteur sur la particule est nulle ou insensible.

Or, si nous nous rappelons que ces particules sont électrisées négativement, nous nous dirons que, placées entre deux plateaux électrisés en sens contraires, positif en dessous, elles seront attirées vers le bas (fig. 3). Nous pourrons donc établir une équation absolument semblable à celle qui servirait à évaluer la dévia-

(1) La loi générale de la chute des corps donne :

$$D = \frac{gt^2}{2}. \qquad (1)$$

D'autre part, P étant le poids du projectile et m sa masse, on a $P = mg$ ou $g = \frac{P}{m}$; de plus, si L représente la distance de la bouche au but, et v la vitesse du boulet, on écrira aussi $t = \frac{L}{v}$; et, en mettant ces deux valeurs en (1), on obtiendra :

$$D = \frac{PL^2}{2mv^2}. \qquad (2)$$

Soit, par exemple, à déterminer la déviation vers le bas que subirait, après un parcours de 1200 mètres, un projectile, animé d'une vitesse de 600 mètres par seconde, et dont la masse est de 500 grammes; l'accélération g à l'endroit de l'essai est supposée égale à 9,80 mètres ($P = 500 \times 9{,}8$). Il vient :

$$D = \frac{500 \times 9{,}8 \times 1\,440\,000}{2 \times 500 \times 360\,000} = 19{,}6 \text{ mètres.}$$

tion du boulet de canon : et, puisqu'il est facile de rendre visible la trajectoire de ces particules en les obligeant à bombarder une plaque enduite de matière phosphorescente, nous écrivons que la déviation D_1 observée sur la plaque est fonction de trois facteurs : la charge e des particules, dont dépend la force déviante : leur masse m et leur vitesse v (1).

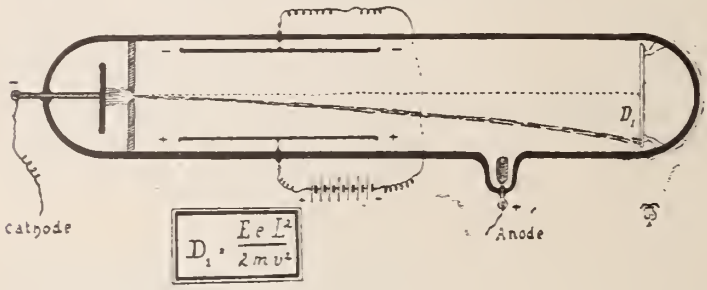


Fig. 3.

Cette équation unique entre les trois inconnues, e, m, v, ne nous permet pas de déterminer leur valeur. Pour y arriver, il faudrait pouvoir écrire encore deux autres relations entre ces mêmes inconnues.

(1) La force déviante, qui était la pesanteur P dans les cas du boulet de canon, est ici le produit Ee du champ électrique E des plateaux par la charge d'une particule cathodique. La formule cherchée s'obtiendra donc en remplaçant, dans la formule (2), P par Ee. Il vient ainsi :

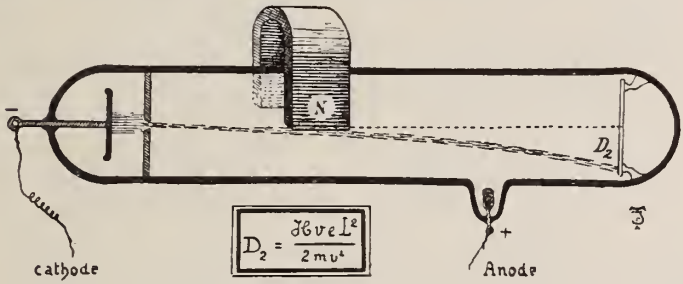
$$D_1 = \frac{EeL^2}{2mv^2}. \qquad (3)$$

L est la longueur comprise entre la cathode et la plaque d'arrêt. Les facteurs exprimés en majuscules sont mesurables

Supposons, par exemple, que l'un des plateaux soit mis à la terre et que l'autre, situé parallèlement à 3 centimètres de distance, porte une charge de 5,4 unités électrostatiques ($1{,}8.10^{-9}$ coulomb) ; le champ électrique dans l'espace intermédiaire sera de $\frac{5{,}4}{3^2} = 0{,}6$ unité électrostatique et, dans ces conditions, la distance L entre la cathode et le fond du tube étant de 20 centimètres, et la déviation D_1 observée de 2 centimètres, l'équation proposée devient :

$$2 = \frac{0{,}6e \times 400}{2mv^2} \qquad \text{ou} \qquad \frac{e}{mv^2} = \frac{1}{60}. \qquad (4)$$

Une seconde se construira sans difficulté : les particules électrisées en mouvement constituent un courant électrique ; or, les courants sont déviés par les aimants. Si donc on fait passer le flux cathodique entre les pôles d'un aimant de puissance connue (fig. 4), on obtiendra une nouvelle déviation D_2, dont l'importance dépend des trois mêmes inconnues : charge, masse et vitesse des particules cathodiques (1).



$$D_2 = \frac{\mathcal{H} v e L^2}{2 m v^2}$$

Fig. 4.

Encore un pas et le problème serait résolu ; mais il fut moins facile à franchir. A Wilson revient l'honneur d'avoir établi cette troisième équation sur des bases expérimentales vraiment prodigieuses d'ingéniosité.

(1) La force déviante produite par un champ magnétique d'intensité H sur un courant d'intensité i est égale au produit Hi. Or, l'intensité d'un courant résultant du déplacement d'une particule chargée est égale au produit de sa charge e par sa vitesse v. Nous remplaçons donc en (2) le facteur P par Hev, ce qui donnera :

$$D_2 = \frac{HevL^2}{2mv^2} = \frac{HeL^2}{2mv}. \qquad (5)$$

Encore une fois, les termes exprimés par des majuscules sont mesurables.

Supposons, par exemple, que notre tube ayant encore 20 centimètres de longueur, la déviation D_2 produite dans un champ magnétique de 4,8 gauss ou de $\frac{4,8}{3 \times 10^{10}}$ unités électrostatiques soit de 3 centimètres ; la dernière équation devient :

$$3 = \frac{\frac{4,8}{3 \times 10^{10}} e \times 400}{2mv} \quad \text{ou} \quad \frac{e}{mv} = 9375.10^4. \qquad (6)$$

Il commença par remettre en lumière que, d'après les expériences déjà anciennes d'Aitken, l'humidité de l'air, même sursaturé d'eau, ne peut se condenser en nuages que si des particules solides, des poussières, lui servent de noyaux de condensation ; puis il montra que les particules cathodiques sont très aptes à jouer ce rôle de noyaux ; enfin il rappela que, comme Sir Stokes l'avait démontré dès 1850, les gouttes d'eau qui tombent à travers l'air sont d'autant plus efficacement freinées dans leur chute par ce milieu visqueux que leur rayon est plus petit, si bien que, lorsqu'on connaît leur vitesse de chute, on peut en déduire le rayon des gouttelettes (1).

Cela étant, il fit construire une cage de verre dont le couvercle et le fond étaient constitués par des plateaux métalliques ; il fit pénétrer dans cette cage de l'air saturé d'humidité, mais préalablement filtré par un tampon d'ouate *t* pour éliminer tous les noyaux de condensation (fig. 5) ; cet air, sursaturé par une détente brusque qui le refroidit, reste parfaitement limpide. Mais si, mettant en œuvre un des nombreux moyens capables de faire naître des particules cathodiques (par exemple, un faisceau de rayons X), on en produit un grand nombre à l'intérieur de la cage : l'air

(1) La force qui fait tomber la goutte (son poids) est proportionnelle au volume de cette goutte, c'est-à-dire au *cube* de son rayon ; le freinage du milieu visqueux est proportionnel à la surface balayante (grand cercle) de la goutte, c'est-à-dire au *carré* de son rayon. Donc, quand ce rayon diminue, la force de chute diminue plus vite que celle de freinage, et il s'établit bientôt un équilibre de telle sorte que *la vitesse de chute devient constante*. Stokes a démontré que, pour une goutte d'eau, tombant dans l'air avec une vitesse v, on a la relation :

$$r^2 = 0{,}000\,000\,82\, v. \qquad (7)$$

Par exemple, si une gouttelette de brouillard parcourt verticalement sous l'action de la pesanteur seule, un trajet de 3 centimètres en 10 minutes ($v = \frac{3}{600} = 0{,}005$ centimètre par seconde), son rayon est :

$$r = \sqrt{0{,}000\,000\,82 \times 0{,}005} = 0{,}000\,064 \text{ centimètre.} \qquad (8)$$

se brouille aussitôt au moment de la détente et la buée ainsi formée se met à tomber d'un bloc, mais si lentement que la descente du bord supérieur est très facilement observable. Enfin, Wilson électrisa en sens contraire les deux plateaux : d'après le sens de leur polarité la vitesse de chute fut accélérée ou retardée,

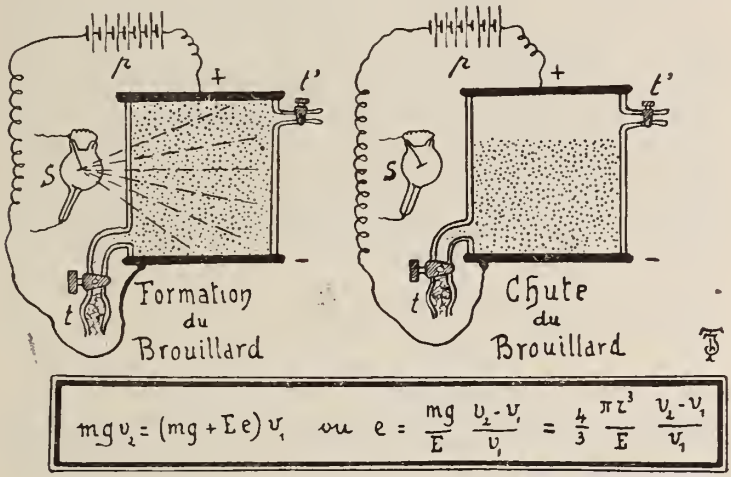


FIG. 5.

ce qui est tout à fait naturel, puisque ces particules ont une charge négative. Mais cette force accélératrice ou retardatrice, la charge des plateaux étant connue, dépend uniquement de la charge des particules, qui devient ainsi calculable (1).

(1) La vitesse constante de chute de gouttelettes est évidemment proportionnelle à la force qui les sollicite vers le bas. Or, dans les conditions ordinaires cette force F_1 est égale au poids $P = mg$. Soit v_1 la vitesse de chute correspondante.

Quand les plateaux créent un certain champ électrique E qui tend à accélérer la chute, la force F_2 qui détermine la vitesse a comme expression $mg + Ee$. Soit v_2 cette vitesse. On pourra écrire :

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{mg}{mg + Ee}, \text{ ou } mg\, v_2 = (mg + Ee)\, v_1.$$

ou

$$e = \frac{mg}{E}\,\frac{v_2 - v_1}{v_1}$$

Mais le poids mg d'une gouttelette est égal au produit du volume $\frac{4}{3}\pi r^3$

Une de nos trois inconnues, à savoir la charge des corpuscules, est donc déterminée ; la solution des deux équations précédentes nous fournira alors la valeur des deux inconnues restantes : c'est-à-dire la masse et la vitesse des particules (1).

Examinons maintenant les résultats de ces calculs : La *vitesse* de ces particules est fantastique : elle oscille entre 30 et 60 mille kilomètres par seconde. Ces électrons atteindraient la Lune en 5 secondes ! Un milligramme de matière projeté à cette allure produirait contre un obstacle le même choc que la ruée de 60 trains express lancés à toute vapeur ! Heureusement pour nous, la *masse* des particules cathodiques est infinitésimale :

par la densité (égale à l'unité dans le cas traité). Donc

$$e = \frac{4}{3}\frac{\pi r^3}{E}\frac{v_2 - v_1}{v_1} \qquad (9)$$

Supposons, par exemple, que le bord supérieur du brouillard tombe dans les conditions ordinaires à la vitesse de 0,005 cm par seconde, et que cette vitesse soit portée à 0,011 cm. (6,6 cm. en 10 minutes), lorsque l'un des plateaux étant au sol, l'autre, distant de 5 centimètres, reçoit une charge de 25.10^{-12} coulombs ou 0,075 unité électrostatique. L'équation (8) nous a appris que $r = 0{,}000\,064$, de sorte que l'équation (9) devient, puisque $E = \frac{0{,}075}{25} = 0{,}003$:

$$e = \frac{4}{3}\frac{3.1416 \times \overline{0{,}000\,064}^{\,3}}{0{,}003}\frac{0{,}011 - 0{,}005}{0{,}005} = 4{,}4.\ 10^{-10}$$ unité électrostatique ou 140 sextillionièmes de coulomb : c'est bien l'unité naturelle de charge électrique, ou électron.

(1) Par exemple, en divisant (6) par (4) on obtient :

$$\frac{\frac{e}{mv}}{\frac{e}{mv^2}} = \frac{9375.10^4}{\frac{1}{60}}$$ ou $v = 5\,625\,000\,000$ cm. ou 56 250 kilomètres par seconde.

Pour obtenir enfin la valeur de m, on mettra en (6) les valeurs obtenues pour e et pour v : $\frac{44\ 10^{-10}}{m \times 5625.10^6} = 9375.10^4$, ou $m = 0{,}83.10^{-27}$ gramme.

Rappelons-nous maintenant que la masse d'un atome d'hydrogène est de $\frac{1}{68 \times 10^{22}} = 0{,}147.10^{-22}$ gramme : nous voyons aussitôt que cette dernière masse est environ deux mille fois plus grande que celle de l'électron.

elle n'est que la 2000e partie de celle de l'atome d'hydrogène, le plus léger des atomes connus. Quant à leur *charge*, elle est de 140 sextillionièmes de coulomb, c'est-à-dire *précisément celle que je vous avais engagés à retenir et que l'électrolyse nous a révélée comme unité naturelle d'électricité...*

Cette charge voyage donc ici sans aucun support atomique ! Et l'on ne tarda pas à remarquer que, quels que soient le métal des électrodes et la nature du verre ou du gaz résiduel, les particules cathodiques, ou les électrons, puisque c'est bien de ceux-ci qu'il s'agit, sont toujours identiques. Que pouvait-on en conclure, sinon que les atomes d'un corps quelconque émettent, dans des conditions assez spéciales il est vrai, des électrons, et que ces derniers entrent dans la composition de tous les atomes ?

On doit se demander maintenant *ce que devient l'atome qui a rejeté ainsi un ou plusieurs électrons.* Des expériences semblables à celles que nous venons d'esquisser démontrent que ces résidus voyagent aussi en ligne droite, mais en sens contraire des électrons. On a donné à leur faisceau le nom de *rayon scanaux de Goldstein.* Leur *vitesse* est beaucoup plus faible que celle des particules cathodiques (environ 4 000 km. par seconde) ; par contre, leur *masse* est beaucoup plus élevée ; cette masse varie d'ailleurs avec la nature des gaz employés : preuve que ces particules n'ont pas une nature propre, mais ne sont autre chose que l'atome privé de quelques électrons. Leur charge est *positive* et égale, mais en sens contraire, au total des charges perdues par émission d'électrons négatifs. D'où leur vient cette charge ? Est-elle aussi granulaire, et existe-t-il au centre de l'atome un noyau d'électrons positifs ? C'est une question sur laquelle les physiciens aiment mieux glisser, car leur ignorance est presque complète sur ce sujet... Nous imiterons leur exemple, non sans

prévoir que l'étude de ce noyau positif ménage encore plus d'une surprise.

VI. LES ÉMISSIONS RADIOACTIVES

La découverte et l'étude des décharges dans les vides élevés avaient donc donné un premier coup de bélier à la doctrine de l'insécabilité de l'atome. Il s'en était suivi une première lézarde, signe avant-coureur d'une ruine plus complète.

En 1896, M. et Mme Curie isolèrent le radium, émettant spontanément et sans aucune interruption, outre de la chaleur et de la lumière, un flux particulier d'énergie affectant l'allure d'un rayonnement cathodique. Cette sensationnelle découverte mit sur les dents toute une pléiade de savants obstinés. L'émission du radium fut pour ainsi dire disséquée par M. Becquerel : en appliquant encore une fois les méthodes de déviation par des champs électrique et magnétique, il montra que le radium projette, outre une vibration spéciale de l'éther (les rayons γ), un flux de particules électrisées positivement, ayant comme poids atomique 4 (rayons α), et un torrent de particules négatives (rayons β), dont la vitesse est presque égale à celle de la lumière et dont la charge présente, encore et toujours, cette obsédante valeur de 140 sextillionièmes de coulomb ; leur masse est, comme celle des particules cathodiques, la 2000e partie de celle de l'atome d'hydrogène. A ce signalement, nous reconnaissons sans hésiter l'*électron*.

Dans le cas du radium, aucune énergie extérieure n'est mise en jeu ; c'est dans son propre fonds que l'atome de ce métal trouve la force de projeter au loin ses débris. Et ceux-ci que deviennent-ils ? Les particules α, se neutralisant au contact du milieu, forment l'*hélium*, corps rare, de poids atomique 4, que les chi-

mistes connaissaient déjà ; et, d'autre part, en perdant cette particule, l'atome de radium change de nature : son poids atomique diminue de 4 unités, il est devenu atome de *niton* ; ce nouvel atome émet, lui aussi, des particules α destinées à former de l'hélium et subit une nouvelle chute de 4 unités dans son poids atomique... et ainsi de suite. On a pu établir ainsi une véritable lignée de métaux, depuis le radium jusqu'au polonium et au plomb, réalisant ainsi cette *mutation des métaux*, rêve séculaire des alchimistes, traité hier encore de chimère. Nous reviendrons sur ce sujet d'un si haut intérêt philosophique.

Quoi qu'il en soit, il ne restait plus aux défenseurs de l'insécabilité de l'atome que d'invoquer l'extrême rareté du radium et la possibilité d'une observation hâtive ou incomplète. Mais cette ressource même ne devait pas leur rester.

La liste des corps radioactifs s'allongea : uranium, actinium, polonium, thorium, etc., bien que le radium restât toujours très supérieur à ses émules... et l'on finit par établir indiscutablement que tous les corps peuvent émettre des électrons, pour peu qu'on les y invite : il suffira de les exposer aux rayons ultraviolets ou aux rayons X, de les soumettre à une action chimique appropriée, de les échauffer jusqu'à incandescence. Dans ce dernier cas notamment, l'émission d'électrons fut trouvée si intense qu'on put la mettre à profit pour construire soit des valves électriques ne laissant passer qu'une des phases des courants oscillants (tels les audions détecteurs ou amplificateurs qui ont révolutionné la T. S. F.), soit des cathodes filiformes incandescentes qui, avec le tube Coolidge, ont permis le dosage en intensité et en pénétrabilité des rayons de Röntgen : deux admirables progrès techniques issus de la théorie électronique.

A la suite de ces succès, l'immense majorité des

savants se rallia à cette idée que *les atomes sont formés d'électrons positifs et négatifs diversement agencés et que leurs différences spécifiques résultent, non pas d'un substratum propre, mais d'une structure architecturale particulière :* telles des briques, donnant, selon leur arrangement, une chaumière, un palais ou un four à chaux.

VII. RÉVOLUTIONS DES ÉLECTRONS DANS L'ATOME

Restait à déterminer cette architecture. Et tout d'abord, l'énergie des atomes indique, sans aucun doute possible, que les éléments constitutifs sont en mouvement. Mais les trajectoires sont-elles ouvertes ou fermées ? Ici commence la tâche de l'illustre Zeeman, interprétée par Lorentz.

Pour faire comprendre l'œuvre de ces savants, nous devons rappeler d'abord quelques notions d'optique, universellement admises aujourd'hui. La lumière et la chaleur rayonnante ne sont autre chose que les vibrations d'un milieu élastique dans lequel baigne l'univers entier et qu'on appelle l'éther. Ces vibrations se propagent à la vitesse énorme de 300 000 kilomètres à la seconde. Divers procédés extrêmement précis ont permis de mesurer la fréquence de ces oscillations et ont conduit à ce résultat certain que les ondes hertziennes employées en T. S. F., la chaleur rayonnante, la lumière de diverses couleurs, les ondes chimiques qui impressionnent les plaques photographiques ne diffèrent essentiellement entre elles que par la rapidité des alternances. C'est ainsi, par exemple, qu'en T. S. F. on utilise des ondes dont la fréquence varie de 75 000 à 1 000 000 ; les lumières rouge, jaune ou violette comportent respectivement 400, 500 et 800 trillions d'oscillations par seconde. Il était naturel, étant donnée

cette identité de nature, d'attribuer à ces différentes ondes une origine analogue. Or, on sait comment prennent naissance les ondes hertziennes : elles sont engendrées par des étincelles oscillantes, c'est-à-dire par des courants alternatifs dont les brusques variations ébranlent l'éther et lui imposent des vibrations dont la fréquence est identique à celle de leurs propres alternances.

La lumière aurait-elle une origine analogue ? Cela ne serait pas impossible. En effet, nous savons qu'un électron en mouvement constitue un courant électrique. Si nous admettons que les électrons qui entrent dans la constitution des atomes tournent en trajectoires fermées, chacune de ces petites orbites (fig. 6) formerait

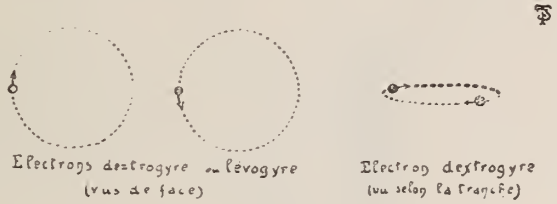


Fig. 6.

en réalité un courant alternatif, comme on s'en convainc aussitôt en les regardant par la tranche. Mais alors il suffirait d'admettre que, dans un corps incandescent donné, les électrons font 400, 500, 800 trillions de tours par seconde pour être amené à cette conclusion que ces corps émettent de la lumière rouge, jaune ou violette.

Par exemple, la flamme d'une lampe à alcool salé est jaune monochromatique : analysée au spectroscope, elle donne, non pas un spectre continu du rouge au violet, comme la lampe à arc, mais deux raies jaunes (fig. 8). Pour simplifier notre exposé, considérons seulement l'une d'elles, dont la position, étudiée avec

une scrupuleuse minutie, atteste des vibrations au taux de 509 trillions par seconde (1). Si la théorie indiquée il y a un instant est exacte, cela signifie uniquement ceci : les électrons de la flamme girent à la fréquence de 509 trillions de tours par seconde. Le sens de ces

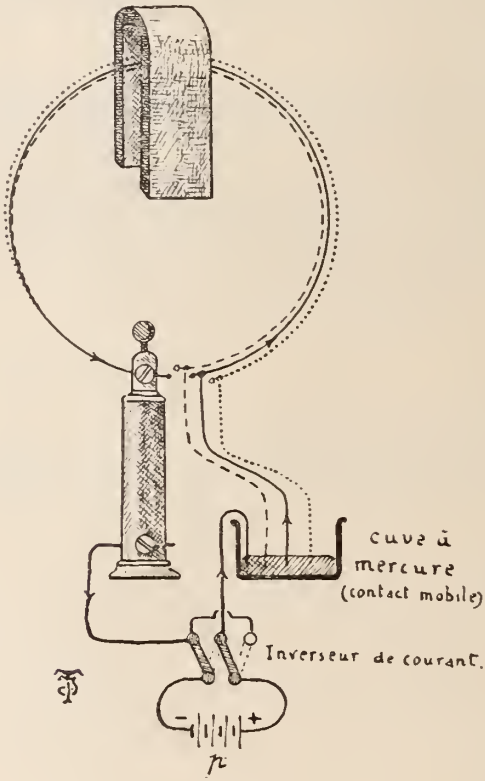


Fig. 7.

rotations est d'ailleurs indifférent et il est à priori probable qu'ils tourneront dans les deux sens. Combien

(1) On sait qu'en réalité cette flamme donne au spectroscope *deux* raies très rapprochées correspondant à deux périodes différentes. Pour la commodité de l'exposition, nous supposons une raie unique. Ce que nous en disons s'applique aux deux raies existantes : chacune d'elles donne un doublet dans un champ magnétique.

simple et séduisante est cette hypothèse, qui répond du même coup à notre question sur l'équilibre des électrons ! Mais il ne suffit pas qu'une hypothèse nous fascine : il faut l'asseoir sur les bases de l'expérience. Ce fut l'œuvre de Zeeman. Voici le principe de sa méthode.

Si nous pouvions mettre en œuvre une cause qui diminue le nombre des révolutions électroniques dans la flamme d'alcool salé, la raie jaune serait reculée vers le rouge, qui correspond à des girations plus lentes ; au contraire une cause accélératrice pousserait la raie du côté opposé, vers le violet. Or, on connaît une cause de ce genre et, pour vous en convaincre, j'ai construit un petit appareil tout à fait simple que je vais projeter à l'écran. Vous y voyez l'ombre d'une petite boucle métallique élastique et facilement déformable dans laquelle, grâce à un commutateur-inverseur, je puis à volonté lancer un courant électrique dextrogyre ou lévogyre (fig. 7). A présent le courant circule dans la spire : vous constatez qu'elle n'en est aucunement affectée. Mais je place au préalable à califourchon sur la boucle un aimant assez puissant ; je fais passer le courant dans un sens : la boucle s'ouvre davantage. Je renverse le courant, elle se ferme. Je coupe le courant, elle reprend sa forme initiale.

Eh bien, imaginons maintenant que cette boucle soit la trajectoire d'un électron : dans un champ magnétique cette trajectoire s'allonge ou se raccourcit suivant le sens de la révolution. Dans le cas de la flamme d'alcool salé, par exemple, les électrons dextrogyres devront faire de plus grands tours ; ils en feront donc moins par seconde, et la raie jaune reculera vers le rouge ; les électrons lévogyres feront plus de tours par seconde, et la raie sera avancée vers le violet. En définitive, la raie jaune sera dédoublée (fig. 8). Or, l'expérience de Zeeman confirme, point pour point, le dédoublement de

la raie jaune, lorsque la flamme d'alcool salé est placée entre les mâchoires d'un aimant.

On peut donc considérer la révolution des électrons dans l'atome comme confirmée expérimentalement.

Mais Zeeman a été plus loin : d'après le sens de la polarisation lumineuse des doublets et d'après l'importance de la déviation des raies, il rechercha la nature et l'importance de la charge électrique ainsi que la masse des particules en rotation dans la flamme d'alcool salé. Les résultats, pour attendus qu'ils soient, n'en sont pas moins merveilleux : la *charge* et la *masse* sont exactement celles que nous avons trouvées pour les

Fig. 8.

rayons cathodiques et les particules β du radium. Quant *au nombre de tours* nous n'avons plus rien à ajouter : nous savons, par exemple, qu'il est de 509 trillions par seconde dans le cas du sodium incandescent. Comparant ensuite la force centrifuge que subissent les électrons du fait de leur révolution avec la force centripète qui résulte de leur attraction par le noyau positif de l'atome, on a pu écrire très simplement une équation dont la solution donne le *diamètre des orbites décrites par les électrons,* et cette valeur est précisément celle que des méthodes entièrement différentes assignent

pour diamètre à l'atome (1). *Donc les électrons qui engendrent la lumière forment un anneau extérieur et roulent à la surface de l'atome.*

Serait-il possible de n'être point frappé par la stupéfiante cohérence de cette théorie, et qui voudrait encore traiter de fiction poétique la comparaison de l'atome avec un système solaire dont le noyau positif est le soleil et dont les électrons constituent les planètes ou les satellites ?

VIII. ARCHITECTURE INTERNE DES ATOMES

Oserait-on maintenant s'attaquer au problème de l'architecture interne des atomes, et rechercher la relation qui existe entre celle-ci et les propriétés spécifiques des différents atomes ?

Il y a plus de cinquante ans, Mendelejeff avait fait remarquer qu'*il existe un rapport certain entre le*

(1) L'électron est en équilibre quand la force centripète est égale à la force centrifuge. Or la première est due à l'attraction de l'électron par le noyau. Chacun d'eux ayant la charge e et leur distance mutuelle étant le rayon r de l'orbite, il vient :

$$\text{Force centripète} = \frac{e^2}{r^2}$$

La force centrifuge sera donnée par la loi générale de mécanique $F = \frac{mv^2}{r}$ ou, puisque $v = 2\pi rn$, $F = 4\pi^2 n^2 mr$. L'équilibre demande donc que :

$$\frac{e^2}{r^2} = 4\pi^2 n^2 mr, \quad \text{ou} \quad r = \sqrt[3]{\frac{e^2}{4\pi^2 n^2 m}}.$$

Remplaçons e, m et n par les valeurs que nous leur avons attribuées plus haut, soit $4{,}4 \cdot 10^{-10}$, $0{,}83 \cdot 10^{-27}$, et $509 \cdot 10^{12}$, il vient :

$$r = \sqrt[3]{\frac{4{,}4^2 \cdot 10^{-20}}{38{,}5 \times 509^2 \cdot 10^{24} \times 0{,}83 \cdot 10^{-27}}} = 2{,}8 \cdot 10^{-8} \text{ centimètre.}$$

Cette valeur (environ trois dix-millionièmes de millimètre) est bien celle que d'autres méthodes tout à fait différentes indiquent comme celle du rayon de l'atome.

poids des atomes et leurs propriétés physiques et chimiques, c'est-à-dire, selon les hypothèses formulées plus haut, entre ces propriétés et le nombre d'électrons positifs ou négatifs qui constituent l'atome.

NATURE DU CORPS SIMPLE	HÉLIUM	LITHIUM	BERILLIUM	BORE	CARBONE	AZOTE	OXYGÈNE	FLUOR
Poids atomique	**4**	**7**	**9**	**11**	**12**	**14**	**16**	**19**
Valence	0	1	2	3	4	3	2	1
Température de fusion	—270°	180°	1300°	2500°	4000°	—214°	—220°	—223°

NATURE DU CORPS SIMPLE	NÉON	SODIUM	MAGNÉSIUM	ALUMINIUM	SILICIUM	PHOSPHORE	SOUFRE	CHLORE
Poids atomique	**20**	**23**	**24**	**27**	**28**	**31**	**32**	**35**
Valence	0	1	2	3	4	3	2	1
Température de fusion	—75°	96°	650°	658°	1450°	244°	114°	—80°

NATURE DU CORPS SIMPLE	ARGON	POTASSIUM	CALCIUM	SCANDIUM	TITANE	ETC...
Poids atomique	**39**	**39**	**40**	**44**	**48**	
Valence	0	1	2	3	4	
Température de fusion	?	63°	770°	?	1850°	

Pour nous en convaincre, nous dresserons la liste complète des 80 corps simples connus, en ayant soin de les classer par ordre de poids atomiques croissants. Je l'ai arrêtée après le 21me terme, dans l'unique but d'éviter l'encombrement ; les remarques que nous ferons sur ces 21 premiers termes s'appliquent — sauf quelques modifications de détail d'ailleurs explicables — aux 59 suivants, de sorte qu'elles embrassent tous les corps simples connus.

Sous chacun des 21 termes de cette série nous avons désigné par un chiffre, d'abord leur poids atomique, et puis ce qui constitue leur principal caractère chimique : leur *valence*, c'est-à-dire le nombre d'atomes monovalents qu'ils sont capables de fixer en combinaison. La parfaite régularité avec laquelle varient ces nombres frappe de prime abord : dans chaque série de 8 corps consécutifs, ils suivent d'abord une gradation ascendante de 0 à 4, puis une chute continue de 4 à 1.

Cette simple constatation serait déjà extrêmement remarquable, puisque l'ordre dans lequel ces corps ont été placés est uniquement déterminé par la grandeur du poids atomique. Mais voici qui est beaucoup plus curieux encore : *l'immense majorité des propriétés tant physiques que chimiques des corps simples suivent des oscillations analogues, dont les maxima et les minima coïncident exactement avec ceux des valences.* En guise de vérification, choisissons au hasard une des multiples propriétés physiques : *la température de fusion :* celle-ci est marquée, en degrés centigrades, sous chacun des 21 corps de notre série, et nous constatons aussitôt que leurs croissances sont exactement correspondantes à celles de leurs valences.

Et voici qui achève de rendre cette série singulièrement intéressante : *si nous comparons entre eux les termes qui occupent le même rang dans les diverses*

séries partielles, comme l'hélium, le néon, l'argon, etc..., ou le lithium, le sodium, le potassium, etc..., *nous voyons que nous avons formé ainsi des groupes de corps simples, dont les chimistes avaient proclamé la parenté* bien avant que la classification de Mendelejeff n'eût vu le jour.

Ce génial classificateur avait une telle foi dans son système qu'ayant trouvé, dans la série des corps simples connus de son temps, deux corps consécutifs ayant la même valence 3, à savoir le gallium et l'arsenic, il n'hésita pas à affirmer qu'il existait, en cet endroit, un hiatus dans nos connaissances, et que cette lacune devait être comblée par un corps tétravalent, encore à inventer, mais dont il décrivit avec une réelle minutie toutes les propriétés physiques et chimiques, en se basant sur ce fait que la place de ce corps dans la série indiquait des caractères moyens entre ceux de ses voisins immédiats ; il l'appela *ékasilicium.* Or, quinze ans plus tard, Winkler isola un corps simple répondant exactement à ce signalement avant la lettre ; il n'y changea guère que le nom et on peut le regretter : c'est le *germanium.*

Résumons : en cataloguant tous les corps simples connus, non pas dans un ordre librement choisi par nous, mais suivant l'ordre des poids atomiques, nous constatons que toutes les propriétés de ces différents corps vont en croissant et en décroissant alternativement selon une période sensiblement constante (1), si bien que, si nous représentons chacune de ces propriétés par une courbe, toutes ces courbes affectent la forme de montagnes russes à crêtes également espacées et qui ne diffèrent entre elles que par la hauteur des crêtes et la profondeur des sillons. De plus, les

(1) Cette période est de 8 éléments pour les 2 premières séries ; de 16 éléments pour les 5 autres séries.

corps simples qui occupent des endroits correspondants sur chacune des crêtes ont entre eux un air de famille très marqué.

Tout ceci ne nous amène-t-il pas à rechercher *dans la structure même de l'atome,* se compliquant graduellement par l'addition de nouveaux électrons, la raison de la périodicité que nous constatons dans les propriétés physiques et chimiques des corps simples ?

Au lieu de suivre en cette matière le savant physicien J. J. Thomson dans ses calculs ardus, imitons l'exemple plus modeste de Meyer, et tâchons de construire un modèle satisfaisant de l'atome. Les conditions essentielles de l'équilibre atomique se définissent comme suit : un certain nombre d'électrons négatifs qui se repoussent les uns les autres en raison inverse du carré des distances sont retenus dans leurs orbites par l'attraction d'un noyau positif dont la charge est égale à

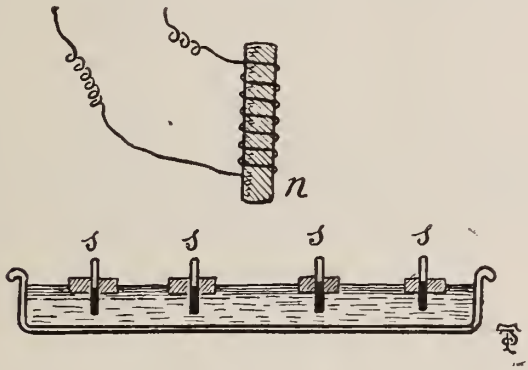


Fig. 9.

la somme de celles des électrons-satellites. Meyer figure ces électrons par de petits aimants droits plantés verticalement dans des bouchons flottants sur l'eau, de telle sorte que tous les pôles émergents soient de même nom, sud par exemple (fig. 9) ; ils sont donc mobiles et se repoussent entre eux suivant la même loi

que les électrons. L'électron positif stabilisateur est représenté par un électro-aimant de puissance appropriée dont le pôle nord domine la cuve et attire tous les petits aimants. On le voit, le modèle est des plus satisfaisants.

Comme la cuve est en verre transparent, il sera facile, en l'éclairant par dessous, de projeter sur l'écran les ombres des flotteurs. Vous n'apercevez à présent qu'un cercle noir central : c'est le noyau positif fixe. Je fais flotter un petit aimant ; vous le voyez aussitôt se réfugier sous le noyau : rien de bien inattendu. Je porte successivement à 2, 3, 4, 5, 6 le nombre des

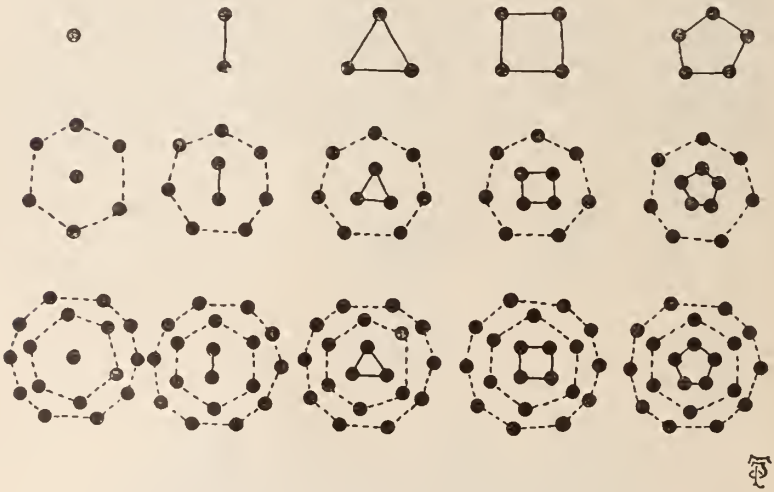


Fig. 10.

flotteurs : ils se disposent en ligne droite, en triangle, en carré, en pentagone, en hexagone. Je viens de déposer un 7e flotteur. Cette fois il y a du nouveau : un élément de la couronne a déserté et s'est mis au centre, cédant sa place au nouvel arrivé, et, si je continue à ajouter des flotteurs, il se forme au centre, encore une fois, comme vous le constatez, une ligne, un triangle, un carré, un pentagone, etc., entourés

maintenant d'*une* ceinture de flotteurs. Un apport plus grand briserait à nouveau cet équilibre, et nous obtiendrions une troisième fois au centre, une ligne, un triangle, un carré, etc., mais entourés de *deux* couronnes de petits aimants, et ainsi de suite (fig. 10).

Bref, nous constatons que les figures centrales se reproduisent périodiquement à mesure que croît le nombre des flotteurs.

Or, les calculs de Thomson montrent que l'équilibre stable des électrons autour de leur noyau central exige une disposition tout à fait analogue, à ceci près que les éléments se disposent, non en cercles plans, mais sur des sphères et que, à cause du mouvement de révolution, l'anneau intérieur devient l'anneau extérieur et vice versa, de sorte que *c'est le nombre des électrons de la ceinture externe qui se reproduit périodiquement.* Et maintenant, voyez comme cette conclusion rend simple l'interprétation de la classification de Mendelejeff.

Nous avons déjà démontré que la couleur de la lumière émise par les corps incandescents dérive de la couronne extérieure des électrons. Admettons qu'il en soit de même pour les autres propriétés de l'atome. N'est-il pas nécessaire alors, puisque cette couronne se reforme périodiquement avec le même nombre d'éléments à mesure que s'accroît le nombre de ceux-ci, que ces propriétés de l'atome apparaissent et disparaissent, elles aussi, périodiquement dans la série des corps simples disposés par ordre de poids atomiques croissants ? Et le maximum de ces propriétés correspondra au maximum de stabilité de l'anneau extérieur, c'est-à-dire aux points les plus éloignés de la transformation de l'anneau extérieur en anneau intérieur : donc au milieu de chaque série partielle.

Et qu'arrive-t-il lorsque deux atomes différents se combinent entre eux ? En quoi consiste d'abord cette

combinaison ? Les deux atomes attirés l'un vers l'autre n'arrivent point au contact, car ils sont tous deux entourés de leur ceinture d'électrons négatifs qui se repoussent mutuellement. Ils graviteront donc l'un autour de l'autre : mais leur rapprochement même entraîne d'assez grandes perturbations dans leurs anneaux extérieurs, dont les éléments se chassent sur les plages opposées ; ainsi s'expliquent les modifications importantes que subissent les atomes entrés en combinaison.

Mais ces combinaisons n'ont guère d'effet sensible sur les ceintures intérieures : aussi les propriétés qui relèvent de ces anneaux -- telles que la faculté d'absorber les particules cathodiques — restent inaltérées, ainsi que nous l'avons fait remarquer au début de cette conférence.

Et voyez maintenant quels horizons et quels espoirs paraissent s'ouvrir devant nous. Si les atomes ne diffèrent entre eux que par le nombre de leurs électrons, puisque leur architecture elle-même ne dépend que de ce nombre (1), ne peut-on entrevoir la possibilité de transformer les corps simples les uns dans les autres par adjonction ou soustraction d'un certain nombre d'électrons ?

Sans doute le « veto métaphysique » est levé (2), et nous avons même constaté que ce rêve se réalise dans un sens, celui de la soustraction, quoique en proportion infinitésimale, chez les corps radioactifs et chez

(1) Quoique, dans certains cas, un même nombre d'électrons soit compatible avec plusieurs architectures, les unes plus stables que les autres, comme le démontrent à la fois les calculs de Thomson, les expériences de Meyer, l'énergie libérée par le radium dans ses désagrégations et enfin l'existence des corps isomères.

(2) En partie seulement, car il semble qu'il y ait deux familles de corps simples, tout à fait distinctes. Pour les vingt premiers, on peut dire que l'une comprend les corps simples de poids atomique pair et l'autre ceux de poids atomique impair.

ceux que l'ingéniosité humaine a rendus tels en leur appliquant des forces naturelles appropriées. Mais ne croyons pas cependant que nous tenons la pierre philosophale et que le jour est proche où nous ébranlerons ou construirons à notre gré des édifices atomiques ; car les énergies mises en œuvre dans la désagrégation du radium sont en disproportion si formidable avec toutes celles que nous pouvons produire artificiellement, et, malgré cela, les mutations sont si désespéramment lentes que jamais autant peut-être qu'aujourd'hui les savants n'ont eu la conscience raisonnée de l'utopie dans laquelle ont vécu les alchimistes (1).

Mais je ne puis abuser plus longtemps de votre patience. Je veux seulement poser une toute dernière question.

IX. NATURE INTIME DES ÉLECTRONS

L'électron lui-même, est-il divisible ? J'entends parler de l'électron négatif, car, je l'ai dit, notre ignorance est presque complète sur l'électron positif, qui se retranche au centre de l'atome dans une forteresse peut-être à jamais inexpugnable.

Malgré l'énormité des forces mises en jeu en des points déterminés par les rayons cathodiques et surtout par les projections radioactives, on n'a jamais pu déceler des fragments d'électron ; et comme il est infiniment peu probable que nous puissions développer un jour des chocs plus violents, *on ne doit guère envisager la possibilité de ce fractionnement.*

En fait, soit, me direz-vous. Mais ne peut-on au

(1) Les conditions les plus favorables à la désagrégation atomique se présentent chez les atomes les plus lourds, qui ont un grand nombre de couronnes : l'instabilité de celles-ci croît avec leur nombre. Tel est bien le cas de tous les corps radioactifs connus, qui se rangent, sans exception, tout à la fin de la série de Mendelejeff.

moins le *concevoir* ? Je ne le pense pas, et voici pourquoi. Le caractère le plus essentiel de l'électron, comme de tout corps matériel, paraît être sa masse. Or, chose extrêmement curieuse, parce qu'elle contredit les lois fondamentales de la mécanique ordinaire, la *masse de l'électron n'est pas invariable :* elle augmente avec sa vitesse de translation, comme il ressort des expériences de Kaufmann (1). Nous ne pouvons donc définir la plus importante propriété de l'électron sans faire intervenir sa vitesse.

Il y a plus : l'électron, même immobile, est énergique, puisqu'il repousse ses pareils et attire les électrons positifs : or, un très grand nombre de physiciens n'admettent d'autre énergie que l'énergie de mouvement, l'énergie cinétique. Nous devrions donc, pour expliquer l'énergie de l'électron, attribuer à cet élément, même lorsqu'il est au repos, un certain mouvement, c'est-à-dire que nous sommes encore une fois amenés à introduire, dans sa définition même, le facteur vitesse.

Mais, en fait de mouvement n'entraînant aucun mouvement local, nous ne connaissons que le tourbillon, dont la toupie qui tourne sur place nous offre un modèle concret.

On est donc amené à *considérer l'électron comme une espèce de trombe d'un substratum, qui doit être*

(1) Toutefois ces variations sont infiniment faibles pour les vitesses ordinairement réalisées : elles ne commencent à être perceptibles que pour des vitesses de 100 000 kilomètres par seconde. Mais à partir de 290 000 km. la masse croît très vite et tend vers l'infini à mesure que la vitesse s'approche de 300 000 kilomètres.

Ces expériences de Kaufmann ne sont, en définitive, qu'une mesure de masse et de vitesse et ne diffèrent donc pas essentiellement de celles que nous avons décrites plus haut.

Notons encore que la masse des électrons paraît être entièrement *électromagnétique*, c'est-à-dire due à leur charge électrique : elle est non seulement analogue, mais identique à cette espèce de masse du courant électrique qu'on appelle self-induction, ou, plus exactement, cette self-induction elle-même n'est que la manifestation de l'inertie ou masse des électrons.

impondérable, puisque précisément c'est la rotation qui lui confère la pondérabilité, et qui semble bien être l'*éther,* vu la facilité avec laquelle l'électron s'agrippe sur ce milieu pour y produire des « vents magnétiques » et des « vagues » calorifiques ou lumineuses. De même que dans les trombes une partie d'air s'individualise dans son propre milieu et acquiert de ce chef une espèce de masse particulière et une apparente variation de poids ; de même, en tourbillonnant, une petite partie d'éther s'isole et prend masse et poids : c'est l'électron, qui est donc absolument *indivisible,* car un demi-tourbillon est un non-sens, mais qui n'est donc plus strictement *indestructible,* puisqu'il peut s'évanouir en vagues d'éther qui se propagent jusqu'aux confins de l'Univers.

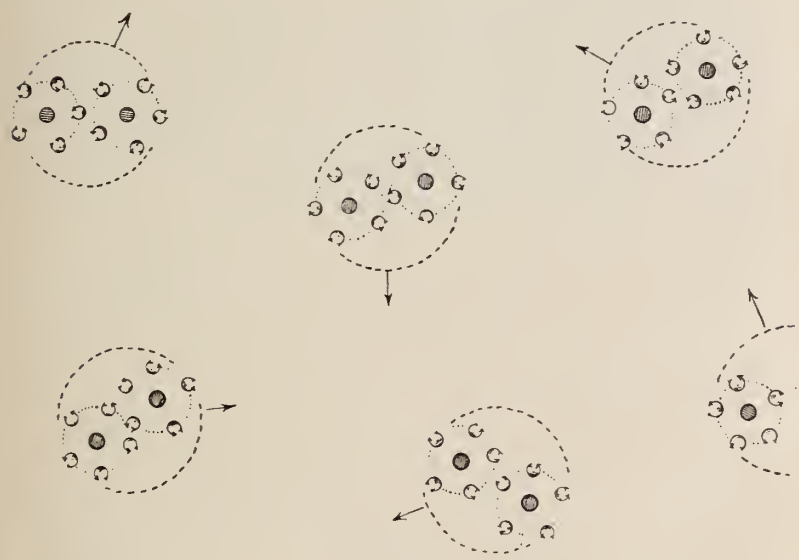


Fig. 11.

Je m'arrête, car j'atteins des régions tout à fait inexplorées et je me résume en deux mots. Voici un

fragment infiniment petit d'un corps simple, observé avec un grossissement fantastique (fig. 11). Ces molécules que vous voyez s'agitent cahotiquement à la vitesse moyenne de un kilomètre par seconde, elles rebondissent et souvent se brisent sous les chocs, car chacune, comme les étoiles doubles, est formée de deux atomes qui tournoient dans ses limites. Mais non, ces atomes ne sont pas des étoiles, mais de vrais systèmes solaires, car j'y vois un soleil central, et, autour de lui, par dizaines, des planètes qui suivent avec des vitesses étourdissantes leurs trajectoires harmonieuses, auxquelles on a pu appliquer les lois astronomiques de Newton et de Kepler. Et dans chacun de ces petits corps j'aperçois du mouvement encore : mieux que cela, ils ne sont que le mouvement du milieu universel qui contient la Création.

Et que dire de l'Artiste qui, en conférant le mouvement à ce milieu unique, sorti de ses mains, a pu faire germer cette admirable floraison d'électrons, d'atomes, de molécules, de planètes, de soleils et d'étoiles !

C'est trop pour notre faible esprit qui s'arrête ébloui. Il ne lui reste qu'un recours : l'adoration.

J. Tillieux.

L'ÉLECTRICITÉ

Substance ou Accident ?

L'électricité, cette chose si multiple dans ses aspects et si puissante dans ses effets, est-elle vraiment aussi mystérieuse qu'on avait pris autrefois l'habitude de le dire ?

Nos enfants, dont le berceau a été éclairé par la blanche lumière d'une lampe à filament métallique, qui ont entendu, dès leurs premiers ans, des voix connues sortir du téléphone et vu les rayons X peindre sur un écran et fixer sur une plaque les contours du squelette de leur main potelée, qui ont appris qu'on télégraphiait à travers les océans, même sans fil, ne comprennent déjà plus que l'on ait pu s'étonner de ce que des voitures sans cheval roulaient sur des rails dans les rues des grandes villes et sur les routes du pays, et ils donnent raison au mot de Montaigne, disant que « l'habitude des choses nous en ôte l'estrangeté » ; familiarisés avec les actions électriques dès leur apprentissage de la vie, ils les trouvent fort naturelles et ne les estiment pas plus incompréhensibles que la puissance motrice du feu et l'effet photographique de la lumière. Nous-mêmes, façonnés par l'accoutumance à ce qui avait si fort intrigué nos pères, nous pressons le bouton d'une sonnerie électrique d'appel avec la même spontanéité que nous tirons le cordon d'une sonnette.

De fait, l'électricité ne soulève pas plus d'énigmes

que n'importe quel autre agent physique : Joseph Bertrand en est convenu, et nous avons reproduit son témoignage dans un précédent article (1). D'ailleurs, bien des obscurités sont déjà dissipées et ceux qui n'ont pas la prétention de découvrir « le pourquoi du pourquoi » et de scruter à fond les profondeurs de l'inconnaissable, ont déjà lieu d'être satisfaits. Si, dans l'opinion courante, l'électricité semble encore habiter des régions moins accessibles et plus imprégnées de mystère, cela tient à des causes qui ne sont pas toutes essentielles à sa nature.

Faisons observer d'abord que cette science est venue après toutes les autres, car elle ne remonte guère au delà des expériences de Grey et de Dufay, qui portent les dates de 1727 et de 1734. Elle a conquis dès lors, avec une impressionnante rapidité, des positions exceptionnelles dans tous les domaines du savoir théorique, des applications domestiques et des utilisations industrielles. En moins de temps qu'il ne nous en fallait pour l'apprendre aux générations successives du siècle dernier, la mise en œuvre de cette forme supérieure, forte et souple, de l'énergie, révolutionnait les conditions du vieux monde et en bouleversait les idées et les mœurs. Ce que l'on n'avait su prévoir en imposait davantage à l'esprit.

D'autre part, ce quelque chose que nous appelons électricité, ne se manifeste directement à nous par aucun de nos sens ; il nous a fallu découvrir son existence, car nous sommes aveugles, sourds et insensibles aux phénomènes électriques, tant qu'ils ne donnent pas lieu à une transformation de leur énergie. Nous n'avons aucunement conscience d'un champ constant magnétique ou électrique dans lequel nous restons plongés, et

(1) REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, janvier 1920, p. 84 ; avril 1920, p. 271.

ne sommes affectés que par sa brusque suppression, ainsi qu'il nous arrive dans ce qu'on appelle le « choc en retour », provoqué par la décharge d'un nuage, placé au-dessus de nos têtes. Rien ne trahit non plus à nos yeux l'état d'un conducteur porté à des milliers de volts, qui nous terrasserait d'une secousse mortelle, si nous venions à le toucher sans être isolés du sol. L'humanité a vécu de longs siècles avant de se douter qu'il y eût de l'électricité dans le monde : ce qui avait pu rester si longtemps ignoré devait paraître mystérieux.

Enfin, à la surprise de la découverte se joignit une nouveauté dans la chose elle-même. Quand on eut pris contact avec le magnétisme et l'électricité, on leur reconnut un caractère spécial, qui n'avait pas encore été observé. Ici, les propriétés sont organisées polairement, ce qui veut dire qu'elles possèdent deux faces symétriques ; cela se traduit par le fait qu'elles affectent deux formes qui ne se doublent pas toujours par addition de deux valeurs égales et peuvent aussi bien s'annuler. Ce dualisme compliquait le concept que l'on pouvait se faire de l'agent du phénomène : à dire vrai, on n'en connaissait pas d'autre exemple. La singularité des phénomènes d'ordre électrique les entourait d'ombre et paraissait les rendre plus impénétrables.

Cette double polarité ne soulevait toutefois pas de difficulté insurmontable. En tous cas, elle n'arrêta pas longtemps les physiciens du XVIIIe siècle, que n'effrayait pas le nombre des hypothèses et qui en imaginèrent tout simplement une de plus : au lieu de dire « l'électricité », ils dirent « les électricités », et leur conscience de savant ne s'en troubla pas. Écoutons Dufay, qui avait établi la distinction entre les deux modes d'électrisation. « Il y a deux sortes d'électricités très diffé-
» rentes l'une de l'autre : l'une que j'appellerai électri-
» cité vitrée et l'autre électricité résineuse : le caractère

» de ces deux électricités est de se repousser elles-
» mêmes et de s'attirer l'une l'autre ». Il écrivait encore : « Les électricités de même espèce paraissent
» ennemies et celles de différente espèce amies ». On attribue à Franklin et à Symmer l'usage de marquer du signe + l'électricité du verre, et du signe —, celle de la résine, ce qui mettait en évidence que des quantités numériquement égales s'annulent en s'ajoutant. Par juxtaposition de quantités préexistantes ou par mariage et combinaison, il se constitue quelque chose de neutre et d'inactif, dont tous les corps sont imprégnés. Ce quelque chose peut être disjoint ou dissocié sous des influences diverses ; la première de celles-ci qui ait été connue était le frottement, par lequel une masse d'électricité ne se développe jamais sur le frotteur sans qu'il apparaisse sur le frotté une masse égale et de signe contraire, ainsi qu'en témoignait une expérience d'une simplicité enfantine. On attribuait la séparation au travail dépensé dans l'acte, et c'était rationnel ; mais pourquoi est-ce ce corps-ci, et non pas celui-là, qui devient positif ? Nous nous le demandons encore.

Pour expliquer l'attraction et la répulsion des corps légers par le bâton frotté, il fallut admettre que l'électricité était liée à la matière, son support, par des forces qu'on appela *pondéro-électriques*. Elles se manifestent visiblement dans les corps mauvais conducteurs, que Désaguliers sut distinguer des bons conducteurs : sur les premiers, l'électricité colle et s'attache au point où elle a été déposée, alors qu'elle est libre de se mouvoir sur les seconds. En prêtant une mobilité suffisante aux électricités dans les substances conductrices, on rendait compte des phénomènes d'influence. Un conducteur étant donné, isolé du sol, le voisinage d'un corps électrisé y sépare les éléments de la matière neutre qu'il renferme, et donne à celui-ci, du côté du corps agissant,

une charge de signe contraire, du côté opposé, une charge de même signe. Vient-on à toucher du bout du doigt n'importe quel point du conducteur influencé, l'électricité de même signe, chassée le plus loin possible, s'écoule dans le sol, tandis que la charge de signe contraire se distribue sur la surface du conducteur, suivant une loi qui dépend de sa forme. La répulsion exercée par les éléments de la charge sur eux-mêmes les met dans un état de tension, qui les porterait à abandonner la surface du conducteur, si la résistance de l'air extérieur isolant n'entravait leur mouvement. Mais ils s'échappent quand même à la longue, et l'on observe une déperdition plus ou moins rapide, dont on peut analyser les causes. Le rôle et le pouvoir des pointes, les phénomènes observés dans le cylindre de Faraday, la fonction d'écran exercée par une enveloppe conductrice mise à la Terre, le fonctionnement des électroscopes, le jeu de l'électrophore et ses machines, etc., et d'autres exemples, que les souvenirs classiques du lecteur joindront à ceux que nous leur rappelons, montrent que la théorie des deux électricités permettait de grouper aisément les premières apparences observées, d'une manière très satisfaisante pour des esprits qui n'en demandaient pas davantage pour croire à la réalité de l'image adoptée, disons plus, d'une manière tellement suggestive, que nos esprits prévenus en subissent encore aujourd'hui le charme et l'obsession.

L'hypothèse faisait indiscutablement des deux électricités quelque chose de matériel : on y voyait des substances de même espèce, mais de qualités opposées, que l'on dotait de la faculté essentielle à leur nature, d'agir les unes sur les autres sans se toucher, *comme si* elles agissaient à distance (1) ; on s'y prenait avec les

(1) En métaphysique, la substance est le support des qualités par lesquelles les êtres arrivent à notre connaissance ; on oppose la substance à l'accident, qui est sa manière d'être. L'esprit forme l'idée de substance par l'abstraction,

électricités comme avec les autres agents connus de la physique : si l'on avait depuis longtemps renoncé aux atomes du son d'Épicure, on adhérait encore au concept des particules calorifiques et lumineuses. C'était dans la tradition, et l'on croyait fermement que cela correspondait à la réalité.

Restait à savoir quelle était cette substance, ne marquant pas sa présence à la balance, inépuisable, indestructible, à laquelle on imposait de pouvoir se glisser entre les intervalles moléculaires des métaux les plus denses et les plus compacts. Il était indiqué de lui imposer une extrême ténuité. Descartes, qui ne connaissait sans doute de l'électricité que ce qu'en avait écrit Gilbert (1), faisait de l'électricité une *materia fluidissima*, dont les éléments *versus omnes partes transire possunt*. Soixante ans plus tard, Newton spécifiait la subtilité de la substance par les mots d'*exhalatio tam rara tamque subtilis* (2). A en croire Cournot, qui ne cite pas son auteur, « quelques-» uns considéraient que les impondérables occupaient » dans la série des existences un rang intermédiaire » entre les corps et les esprits, pour parler, dit-il, le » langage de l'ontologie, entre les substances corpo-» relles et les substances spirituelles » (3). Pour la plupart, l'électricité devint un gaz, ou une huile très volatile. Il semble que ce soit au Genevois Jallabert que nous devons le mot, moins précis et plus général, de *fluide*, qui est resté. L'abbé Nollet employait couramment le

en distinguant ce qui est permanent de ce qui est soumis à des changements. Leibniz avait défini la substance : *ens agendi vi prædîtum ;* la formule satisfaisait mieux les hommes de science que les philosophes ; elle convient bien à l'électricité, qui est une forme de l'énergie.

(1) La *De Magnete, magneticisque corporibus physiologia* a été publiée à Londres, en 1600 ; dans son *Histoire de l'Électricité*, Priestley faisait de Gilbert le père de l'électricité.

(2) J'extrais ces renseignements du *Dictionnaire de physique*, du P. Aimé Paulian (Avignon, 1761).

(3) Cournot, *Traité de l'enchaînement des idées*.

mot vers 1740 ; Franklin en soulignait le sens en rappelant qu'il s'agissait d'une *matière*. Coulomb disait « les fluides » en 1785, mais en se défendant « d'indiquer les véritables causes de l'électricité », et non sans laisser percer quelque incrédulité. Volta fait usage du mot, dès lors consacré, dans sa célèbre lettre au président de la Société Royale de Londres, du 20 mars 1800, dans laquelle il décrivait ses piles à colonne et à couronne de tasses. Ampère, de la Rive, Becquerel, Gaugain, Pouillet, etc., traitaient les fluides comme des réalités, mais en se gardant de trop insister. C'était sagesse de leur part. Il était en effet préférable de ne pas préciser ce qui pourrait rester celé derrière cette expression qu'on laissait flotter dans le vague, de propos délibéré. Un point se trouvait admis par tous, parce qu'il paraissait établi par l'expérience : c'est que l'électricité, qu'elle fût positive ou négative, était une *chose*, constituant une grandeur *sui generis*, ayant son existence propre, réelle, individuelle, résidant en des points déterminés, présentant une continuité dans sa forme et une homogénéité dans sa substance, possédant d'ailleurs des propriétés spéciales et impliquant un concept précis de quantité, fondé sur ses actions extérieures.

Nous allons montrer que, sur cette base hypothétique, s'était construite une théorie scientifique, qui donnait satisfaction aux esprits les plus exigeants et qui n'a rien perdu de sa haute valeur, sous réserve de l'interprétation qu'il faut lui donner.

La charge d'un corps, c'est la quantité qu'il possède.

Cette quantité exerce des actions autour d'elle ; les forces qui en émanent ont fait connaître l'électricité : nous n'avons pas d'autre moyen de savoir qu'elle est présente et combien il y en a. Le moyen suffit.

Coulomb réussit heureusement à mesurer ces actions. Une charge ponctuelle Q agit sur une autre Q', placée à

une distance r, avec une force qui est égale à $k \frac{QQ'}{r^2}$, le paramètre k dépendant du milieu interposé et aussi d'une convention arbitraire dont on dispose pour le choix de l'unité. Faisant k égal à un dans l'air, on fut conduit à prendre pour *unité de quantité* celle qui agit sur une quantité égale, placée à une distance d'un centimètre, avec une force égale à une *dyne*, la dyne étant l'unité de force dans le système C.G.S. (1) L'électricité se trouvait ainsi mesurée et jaugée avec une rigueur mathématique ; cette mesure, indépendante de l'idée particulière qu'on se fait d'une masse d'électricité, doit être portée à l'actif de la théorie des fluides-substances, sous l'empire de laquelle elle a été adoptée.

Isolons une quantité Q. Elle crée autour d'elle un champ d'action, auquel on a donné le nom de *champ électrique :* des forces s'exercent dans cette région de l'espace conformément à la loi de Coulomb. La charge d'un corps est formée par le groupement d'un certain nombre de ces quantités Q, que nous symboliserons par le signe ΣQ. Supposons quelque part dans leur champ, en un point P, l'unité de quantité ; celle-ci sera soumise à la résultante des actions des quantités Q. La question s'était déjà posée à peu près dans les mêmes conditions à Laplace et à Gauss, en attraction newtonienne ; elle les avait conduits à la considération d'une fonction V des coordonnées du point P, dont la valeur se calcule en faisant le quotient de chacune des charges élémentaires qui produisent le champ, par sa distance r au point P. Cette fonction, égale à $\Sigma \frac{Q}{r}$, a reçu le nom

(1) L'unité de quantité, dont il s'agit ici, est l'unité électrostatique. Le *Coulomb*, mieux connu de quelques-uns de nos lecteurs, est l'unité de quantité du système électromagnétique pratique, égale au dixième de l'unité absolue du même système. Cette unité équivaut à 30 milliards d'unités électrostatiques. Nous prions de retenir ce nombre : $30.10.^9$, car nous le retrouverons.

de *potentiel* en P. On aboutit encore à la notion de potentiel en observant que le travail accompli dans le déplacement d'une quantité d'électricité d'un point du champ à un autre, sous l'action des forces centrales auxquelles elle est soumise, est indépendant du chemin suivi : le travail de ces forces, pour le transport de l'unité de quantité entre ces deux points, est précisément égal à la variation du potentiel entre ces points. L'identité, ou du moins l'analogie profonde qui existe entre les phénomènes newtoniens et ceux de l'électrostatique (1), et le concept pour ainsi dire moléculaire de la quantité d'électricité ont fait bénéficier la théorie électrique de l'acquis d'une théorie mécanique solidement établie. Lord Kelvin est parti de là pour introduire la notion de l'énergie dans l'étude des phénomènes électriques.

Un instrument admirable de travail est né de ces rapprochements ingénieux : qu'on me pardonne d'en tracer une rapide esquisse. Les *lignes de force* passant par les divers points d'un contour fermé, tracé sur une surface équipotentielle, forment dans l'espace la surface latérale d'un canal, auquel on a donné le nom de *tube de force* ou de tube d'induction, parce qu'on y canalise le *flux de force*, égal au produit de la section du tube par la force normale à l'équipotentielle. Un diagramme, dessinant ces surfaces, ces lignes et ces tubes peint aux yeux la constitution du champ. D'origine purement géométrique, cette épure permet d'expliquer et de prévoir ce qui se passe dans le champ ; elle correspond du reste à une réalité, dont on peut s'assurer en explorant le champ par une aiguille aimantée. La loi de Coulomb s'appliquant aux masses magnétiques comme aux masses électriques, tous les artifices précédents s'appliquent aux champs magné-

(1) La théorie newtonienne ne connaît que des attractions.

tiques, et une glace, saupoudrée de limaille de fer, fait voir plus aisément encore la belle ordonnance des lignes de force qui sillonnent le champ entourant un aimant. La concordance est rigoureuse entre les conclusions de la théorie et la réalité des faits pratiques.

D'autres exemples, empruntés à des domaines connus, plus accessibles à l'expérimentation, ont apporté à la théorie matérielle dualistique un secours et un appui qui ont contribué à ses progrès tout en développant l'illusion de sa réalité. Si l'on réunit par un fil doué de conductibilité, deux conducteurs quelconques, établis à des potentiels différents, ceux-ci s'égalisent par un transport d'électricité du corps au potentiel le plus élevé à l'autre : ce transport a son analogue dans le flux de chaleur allant d'un corps plus chaud à un corps moins chaud : le potentiel caractérise par conséquent l'état électrique d'un conducteur au même titre que la température caractérise son état thermique, et la qualification de « température électrique » donnée au potentiel aide à l'intelligence des phénomènes. On compare encore avantageusement ce transport d'électricité au transvasement de liquide s'effectuant entre deux récipients, situés à des niveaux différents : l'état hydrodynamique de ces liquides correspond aux potentiels des charges des deux conducteurs. Les potentiels sont rapportés à celui du sol, pris pour zéro, de même qu'on rapporte les altitudes au niveau de la mer. On ne pouvait voir en tout cela que des images, des illustrations, des « modèles » à la façon anglaise, mais leur emploi était commode et conduisait aux utiles notions de la *force électromotrice* résultant d'une différence de potentiel, et de la *capacité* C des conducteurs, définie par la charge nécessaire pour les porter au potentiel unité. Tout corps électrisé, au potentiel V, est doté d'une certaine énergie, qu'il peut actualiser dans sa décharge, égale à $\frac{1}{2}CV^2$, ce que l'expérience

de Riess a justifié rigoureusement. Le bénéfice de ces considérations n'aurait-il été que de provoquer les expériences qui ont paru les confirmer, que nous leur devrions l'attention rétrospective méritée par les illusions fécondes. De plus, celles-ci sont tenaces, et nous n'avons pas toujours réussi à nous en dégager, ainsi que nous allons le voir.

Le milieu isolant, qui forme le fond du champ, sillonné de lignes de force, a reçu le nom de *diélectrique*, parce que les actions électriques s'exercent et se propagent à travers sa substance. Helmholtz et lord Kelvin considéraient ce milieu comme constitué par des particules conductrices ou des cellules, noyées dans une sorte de ciment isolant, entravant leur translation tout en leur permettant de s'orienter; pour lors, ces éléments prendraient des pôles par influence et dirigeraient leurs axes suivant les lignes du champ ; cette modification intime, qui ne laisse pas que de se manifester par des changements physiques, est désignée par le mot de *polarisation*, dont les physiciens ont fait un usage si abusif (1). Cette hypothèse a permis de rendre compte de nombreux phénomènes, notamment de ceux que l'on observe dans les condensateurs, formés de deux armatures conductrices parallèles, séparées par une lame diélectrique. Les forces qui s'exercent entre ces armatures seraient dues, non seulement à leurs charges respectives, mais aussi à celles des cellules, dont la présence augmente la capacité du système et permet de faire accepter aux armatures, pour une différence de potentiel donnée entre elles, une charge plus considérable ; c'est cette augmentation qui définit le *pouvoir*

(1) Ce concept des diélectriques correspond à celui des corps magnétiques : on parle de leur perméabilité comme pour les aimants, et on leur prête une intensité d'électrisation. Les forces à distance sont invoquées dans cette manière de voir ; elles interviennent dans les phénomènes d'influence, par une action sur les cellules, dont Poisson a fait le point de départ d'une théorie restée célèbre.

inducteur spécifique K de la substance diélectrique, dont la valeur est inverse de celle du paramètre k de la formule de Coulomb, relatif au milieu constituant le champ. Ces diverses hypothèses s'adaptent bien au cas d'un seul diélectrique homogène remplissant un champ uniforme, mais elles présentent de grandes difficultés d'interprétation dans le cas de plusieurs diélectriques de nature différente et de champs qui ne sont plus uniformes, pour lesquels la constante k varie d'un point à un autre. La théorie de l'électricité matérielle rencontrait là des problèmes qu'elle n'a pas résolus; mais les autres théories ont-elles obtenu plus de succès depuis lors ?

Vient-on à jeter un pont entre les deux armatures de notre condensateur, par un fil conducteur, et voici qu'aussitôt s'opère la neutralisation de leurs charges par le canal du fil : la quantité positive part de l'armature au potentiel le plus élevé et se rend vers celle qui est au potentiel le plus faible : la première armature descend l'échelle des potentiels, l'autre la remonte ; le mouvement se poursuivra jusqu'à ce que les deux électricités se soient recombinées. Il durerait toujours, si une source maintenait constante la différence de potentiel. On a dit qu'un *courant* parcourt le fil et nous le disons encore : nous parlons le langage de l'hydraulique. L'analogie du fil d'eau qui coule dans le sens des charges décroissantes a fait attribuer au courant électrique le sens du mouvement de la seule quantité positive; mais il ne s'agit plus ici que d'une manière de parler commode (c'est sa seule excuse), qui a conduit à la définition de l'intensité du courant par la quantité qui traverse par seconde un point quelconque du circuit; l'analogie hydraulique concorde avec la loi d'Ohm et de Joule. Cela suffisait aux premiers maîtres, et nous ne sommes pas plus difficiles qu'eux. C'est qu'en effet la fiction admise a conduit à des résultats remarquables,

qui devaient constituer un des plus solides arguments en faveur de la thèse de l'électricité-substance, dont elle était issue : l'importance de ce point de vue justifiera les développements dans lesquels je vais entrer. Je les abrégerai le plus qu'il me sera possible, pour ne pas abuser de l'attention de ceux qui savent déjà ce que je vais dire : mais, parmi mes lecteurs, quelques-uns n'ont pas creusé à fond la question, et d'autres ont pu oublier.

Pratiquons une coupure dans un circuit métallique, — c'est la meilleure manière de découvrir ce qui s'y passe — et insérons-y une colonne d'un de ces liquides auxquels Faraday a donné le nom significatif d'*électrolytes*. Le courant entre dans le liquide par l'électrode positive, l'*anode*, et il va, par le liquide, à l'électrode négative ou *cathode*. Un dépôt de métal se forme sur celle-ci, en même temps que le radical s'accumule sur l'anode et autour d'elle ; entre les électrodes rien ne dénonce le passage de l'électricité, ce que l'hypothèse de Grothus faisait comprendre tant bien que mal. Mais la moindre dépense d'énergie suffisait pour commencer l'électrolyse ; c'était moins aisé à expliquer, car il fallait admettre que les *ions* de la dissolution aqueuse du sel ne sont plus unis par aucune force, lorsque le courant commence à passer. Arrhénius en conclut que la dissociation libératrice était antécédente à la création du champ, et n'était pas son œuvre. Il admit donc que la dissolution du sel dans l'eau avait rompu sa molécule et l'avait scindée en deux atomes ou groupes atomiques, possédant des charges électriques égales et opposées, le métal étant + et le radical — ; plus grande est la dilution, plus il y a de molécules divisées. Le phénomène s'appelle la *dissociation électrolytique* : le produit en sont les *ions*. Ces ions errent en liberté dans le liquide, sans direction préférée, en vertu de la chaleur interne de l'électrolyte. Les chocs

qui ont lieu entre eux et avec les molécules restées entières provoquent d'incessants divorces et remariages, mais le nombre des atomes disjoints et libres demeure invariable, tant que la concentration ne varie pas. Aussitôt que le courant passe, les ions obéissent aux forces électriques qui les dirigent : arrivés au contact des électrodes vers lesquelles ils sont appelés, ils leur cèdent leurs charges et redeviennent neutres en s'y fixant : quant au liquide, il n'est électrolysé que là où il perd des ions, par conséquent seulement sur les électrodes. Il nait ainsi un phénomène de convection sous l'action du champ compris entre les électrodes ; il correspond à deux trains d'atomes ou de groupes d'atomes, porteurs de charges électriques de signes contraires.

Or, ces charges sont calculables, par application des lois de Faraday et d'Avogadro.

Un gramme d'ions hydrogène transporte 96 490 coulombs, soit 9649 unités électromagnétiques absolues ou $9649 \times 30 \times 10^9 = 289\,490 \times 10^9 = 29 \times 10^{13}$ unités électrostatiques de quantité environ. Cette quantité a reçu le nom de *faraday*. Les ions d'un élément quelconque monovalent (1), (tel que K, Na, Ag, +, ou Cl, I, AzO^3, —), quelle que soit leur masse, portent un faraday : un élément bivalent (Cu, Fe, +, ou SO^4 —) porte deux faradays. En d'autres termes, tous les ions monovalents possèdent la même charge, qui est doublée pour les bivalents, triplée pour les trivalents, etc. Quant aux masses des éléments, elles sont exprimées par un nombre de grammes égal à leur poids atomique ou moléculaire. La masse de l'hydrogène étant 1, celle de Cl est 35, 5, celle de Na, 23, on dit que la valeur

(1) La valence exprime la faculté des atomes à se substituer les uns aux autres, vis-à-vis d'un atome d'hydrogène : nous disons donc monovalent l'atome capable de s'ajouter ou de se substituer à un atome d'hydrogène.

de leur atome-gramme est 1 ; 35 5 ; et 23 ; la molécule-gramme NaCl vaut 58, 5.

Je m'excuse de ce rappel de notions aussi élémentaires, mais je n'ai pu m'en dispenser, attendu que le calcul de la quantité d'électricité, charge de chaque atome ou molécule, repose sur ces chiffres. En effet, la loi d'Avogadro nous fait connaître le nombre N d'atomes, contenus dans l'atome-gramme d'une substance quelconque : ce nombre, identique pour tous les corps, est une constante universelle. Sa valeur est connue aujourd'hui avec une précision remarquable et inespérée (1) : nous la prendrons égale à 70×10^{22}.

La masse de l'atome hydrogène est dès lors de $\frac{1}{70 \times 10^{22}}$, celle du chlore, $\frac{35,5}{70 \times 10^{22}}$, etc.

D'où la charge de tous les atomes monovalents est égale à $\frac{9649}{70 \times 10^{22}} = 1,4 \times 10^{-20}$ unités électro-magnétiques absolues ou $\frac{29 \times 10^{3}}{70 \times 10^{22}} = 4,1 \times 10^{-10}$ unités électrostatiques de quantité. Notons soigneusement cette valeur, que nous désignerons par le symbole e (2) ; elle possède une importance théorique considérable, car nous la retrouverons par des considérations et dans des circonstances absolument différentes, et elle nous fournit un argument de la plus haute portée, en faveur de l'hypothèse de la matérialité, qui nous l'a fait découvrir et nous a permis de la calculer.

J'aurais encore à porter à l'actif de cette hypothèse plusieurs autres échappées dans le domaine de l'inconnu ; je me bornerai à les mentionner brièvement.

(1) M. J. Perrin a montré que la valeur N, déterminée par 13 procédés différents, est comprise entre 65 et 72×10^{22} (Conférence déjà citée, les *idées modernes*, etc. page 52) ; on prend généralement la valeur moyenne de 70×10^{22}.

(2) La charge e est le cent millième environ de la quantité minimum décelable à l'électromètre le plus sensible.

Dans l'électrolyse, les ions se déplacent, ainsi que nous l'avons vu, sous l'action du champ créé dans le liquide par la présence de l'anode et de la cathode ; leur mouvement, paralysé par la résistance d'un liquide plus ou moins visqueux, est lent et uniforme, mais la vitesse des ions + et des ions — (des cathions et des anions) n'est pas la même : elle est proportionnelle à l'intensité F du champ et on l'écrit K_cF et K_aF. Les coefficients K_c et K_a sont les *mobilités* des cathions et des anions. On les a mesurées : on a trouvé pour l'hydrogène une vitesse d'un tiers de millimètre environ par seconde dans un champ d'un volt par centimètre ; celle de l'ion SO^4 est près de trois fois moindre. Ces différences de vitesse se trahissent par des pertes de concentration inégales autour des électrodes. Ainsi, dans l'électrolyse d'une dissolution de sulfate de cuivre, la liqueur s'appauvrit plus rapidement autour de la cathode que de l'anode, et la quantité de cuivre y déposée est plus grande que celle que le liquide environnant en peut donner.

C'est ici la place de signaler aussi une création ingénieuse de Helmholtz, celle de la *couche double*, d'après laquelle la surface de contact de deux corps (d'un métal et du liquide dans lequel il est baigné) est recouverte d'une double couche d'électricité, composée de deux couches égales d'électricités contraires. On se rend compte de la sorte de la différence de potentiel produite par le contact, et aussi par le frottement de deux corps hétérogènes ; dans la pile, le siège principal de la force contre-électromotrice réside à la surface commune du métal attaqué et du liquide excitateur : l'action chimique qui s'y développe devient la source de l'énergie disponible. La théorie n'explique pas bien comment cette couche double prend naissance et comment elle subsiste en circuit ouvert, mais l'hypothèse suffit pour jeter des clartés sur les phénomènes de

polarisation et sur les actions électrocapillaires où l'on voit la couche s'annuler et changer de signe.

En traçant ainsi, à larges coups de crayon, le tableau des principales adaptations aux faits de la théorie dualistique (1) des fluides, nous avons cherché à mettre en relief la part qui lui revient dans le développement de la science.

Les images dont cette théorie fait usage pour représenter les phénomènes ne sont, à tout prendre, que des images, dont la ressemblance n'est pas garantie. Les schémas de répartition de ces quantités + et —, qui s'étalent à la surface des conducteurs et s'accumulent sur les pointes ; qui polarisent le diélectrique dans sa profondeur ; qui se transportent d'un point à un autre des circuits métalliques, en obéissant aux forces électromotrices ; ces ions, qui flottent déjà dissociés dans les liquides conducteurs électrolysables et y subissent les attractions de la cathode et de l'anode, peuvent n'être que des fictions dénuées de réalité ; mais ce sont des fictions d'une belle simplicité, d'une claire limpidité, d'une prenante suggestivité, qui donnent l'illusion qu'elles font voir ce qui se passe derrière le tableau. Elles fournissent des facilités d'exposition incomparables, qui permettent d'établir d'abord une théorie élémentaire ouverte à tous les degrés d'intelligence et de culture ; de plus, elles nous

(1) Franklin avait proposé une théorie unitaire qui différait de celle-ci en ce qu'elle n'admettait qu'une substance électrique au lieu de deux : à l'état naturel tous les corps en renfermeraient une quantité déterminée, qui leur serait propre : tout moyen de leur en faire acquérir un excès le rend + ; ils deviennent — par défaut Ainsi le frottement de deux corps l'un contre l'autre en fait passer une certaine portion de l'un à l'autre ; ce que l'un gagne est perdu par l'autre ; ils s'électrisent donc équivalemment en signes contraires. Cette théorie est encore matérielle ; il y a plus : unitaire quant à l'espèce, elle est encore dualistique quant à la forme. Si plusieurs physiciens y sont revenus, c'est parce que l'électrisation leur paraissait plutôt l'effet d'une manière d'être dans l'hypothèse de Franklin que le résultat de la présence d'une substance déterminée.

mettent en possession d'une méthode de raisonnement et d'un instrument mathématique d'une grande puissance. On part d'un petit nombre de concepts et de définitions, et l'on en déduit, par la voie de syllogismes inattaquables et à l'aide de calculs, quelquefois difficiles, mais toujours précis, des solutions qu'une étude expérimentale minutieuse et prolongée reconnaît exactes pour la plupart. Les mesures de laboratoire confirment les résultats donnés par l'application des formules. La force de la méthode repose sur sa logique et sa précision, et elle s'est manifestée par sa fécondité.

Il n'existe pas d'agents plus efficaces de conviction. On comprend donc qu'on se soit attaché à ces théories qui donnaient satisfaction aux besoins actuels, qu'on en soit venu à oublier l'incertitude des prémisses sur lesquelles elles étaient fondées, et qu'on ait cru aux deux fluides, d'une foi sûre d'elle-même. D'ailleurs on sentait d'intuition que, si l'on errait sur des questions de forme, on touchait à la vérité par le fond. L'image n'était pas toujours virtuelle ; elle devenait souvent réelle.

Mais les théories ont été comparées à des tentes que l'on dresse le soir et qu'on replie le matin, pour continuer la route.

Les hypothèses empruntent une partie de leur séduction à leur nouveauté : on s'en fatigue à la longue. Elles n'expliquent d'ailleurs pas tous les faits, et on les trouve un jour en défaut.

Les deux fluides matériels ne constituaient qu'un ingénieux modèle, aux yeux des physiciens sceptiques et incrédules qui n'attachent aux hypothèses les plus fondées et aux théories les mieux assises qu'une valeur d'ordre et de commodité mnémonique. Des faits nombreux peuvent s'expliquer, disaient-ils non sans raison, par une hypothèse, sans que sa réalité s'ensuive nécessairement : il faudrait qu'elle les expliquât tous.

Admettons même qu'il en soit ainsi ; il resterait encore à démontrer qu'aucune autre ne s'adapte aux faits observés. Ce qui est conséquent peut n'être pas vrai. Le succès d'une hypothèse n'est pas un garant de sa vérité. « La nature a plus de voies pour faire les choses que » nous n'en avons de les connaître » (1). Ces arguments, que nous reproduisons pour mémoire, ne touchaient pas plus directement la théorie substantielle de l'électricité qu'aucune autre du domaine de la physique et ne lui firent pas plus de mal. Elle souffrit davantage d'une orientation nouvelle des idées, qui marqua le milieu du XIXe siècle.

C'est à cette époque que fut vidée une querelle qui durait depuis les premiers âges de la science. Dès l'origine de la philosophie grecque, le feu avait été considéré, par les uns, comme une matière, par les autres, comme un mode de mouvement, et les deux explications avaient été étendues à la lumière, qui est un des effets du feu. C'étaient deux thèses opposées, entre lesquelles les plus grands esprits s'étaient partagés, sans trouver l'argument décisif et vainqueur qui aurait pu mettre fin à la lutte. Au début du siècle, les deux écoles se dressaient encore en face l'une de l'autre, la première, celle des émissionistes, se couvrant de la gloire de Newton, alors que la seconde ramenait tout à des ondulations, conformément aux vues de Descartes, de Huygens, de Hooke et d'Euler, aux lumières du génie de Young, de Fresnel, de Cauchy, de Hamilton, etc. Cette dernière apportait une explication immédiate et cohérente à tous les faits anciens et nouveaux, et les faisait entrer dans le cadre d'un harmonieux ensemble. Les émissionistes, au contraire, dans les rangs desquels on voyait encore Malus,

(1) Ce propos est de l'abbé Cottin et je le rapporte d'après M. Boutroux, *loc. cit.*, page 10.

Poisson et Biot, en étaient réduits à accumuler tant d'hypothèses et celles-ci s'ajustaient si péniblement entre elles, que l'on finit par tomber dans le chaos. Les interférences et les diffractions fournissaient déjà des arguments invincibles contre les newtoniens et elles pouvaient être considérées comme la pierre de touche des deux théories rivales, lorsque Foucault réalisa une expérience située à leur point de croisement, qui tranchait définitivement la question (1). Cet *experimentum crucis* acheva de ruiner l'ancien édifice, déjà miné par la base, et la thèse de la manière d'être se substitua à celle de la substance en optique et en chaleur. Or, l'esprit humain lie toujours les choses voisines, et il se plaît à conclure par analogie : si la lumière et la chaleur ne sont pas une matière, l'électricité n'en est pas une non plus : elle ferait exception dans la nature ; rien n'autorise à l'admettre. Les fluides vitré et résineux, + et —, n'ont pas plus de réalité que les fluides austral et boréal, nord et sud, que l'on situait aux pôles des aimants, avant que le génie d'Ampère les en eût chassés : tous les fluides matériels doivent suivre le même chemin et subir le même sort.

Ces raisonnements par similitude étaient un puissant argument d'opinion : la théorie mécanique de la chaleur leur donna une base plus solide.

Cette théorie, entrevue dès les premières années du siècle, venait seulement, vers 1850, d'être précisée dans ses contours par le génie des Carnot, Mayer, Joule, Colding, Helmholtz, Rankine, Hirn, etc. Étant donné que les phénomènes électriques sont toujours accompagnés de manifestations calorifiques, leur étude entrait dans le cadre de la théorie nouvelle et cette

(1) « Samedi 27 avril, 1850, à une heure, il est constaté que la lumière va plus vite dans l'air que dans l'eau » ; note trouvée dans un carnet d'expériences de Léon Foucault.

étude permettait de pénétrer dans la nature intime des deux phénomènes inséparables et connexes. Il est impossible de résumer en quelques lignes des considérations qui remplissent plusieurs chapitres de la physique et s'appliquent à presque toutes les transformations de l'énergie en sa forme électrique. Mais nous pouvons montrer, par des exemples choisis, combien est étroit le lien qui rattache la théorie de l'électricité à celle de la chaleur, lorsqu'on part du point de vue mécanique, et quelles modifications en résultent nécessairement dans les anciennes manières de voir. Quand on frotte un bout d'ambre avec un morceau de drap, il peut paraître vraisemblable que l'on décompose leur fluide neutre en ses éléments positif et négatif ; il y a, par contre, de fortes et nombreuses raisons de croire que le frottement met ces corps dans un état particulier, auquel correspond un certain changement moléculaire (peut-être un mouvement vibratoire déterminé), qui se traduit à la fois en électricité et en chaleur ; en effet, l'ambre et le drap, le frotté et le frotteur, s'électrisent tous deux en même temps qu'ils s'échauffent et ils s'électrisent d'autant plus qu'ils s'échauffent moins, ce qui fait bien voir que les deux phénomènes ressortissent à une cause unique, l'énergie du frottement. Dans la chaîne fermée des métaux de Volta, il ne peut naître de force électromotrice, si tous les éléments sont et restent à une température uniforme et constante ; aucun transport d'électricité ne peut avoir lieu, car il se produirait un travail sans dépense équivalente, ce qui serait en contradiction avec le principe de la conservation de l'énergie. Les courants d'Ampère s'attirent ou se repoussent, mais ils ne conservent pas la même intensité pendant qu'ils agissent. Pourquoi ? La théorie des fluides ne peut nous le dire, mais la thermodynamique nous apprend que cet affaiblissement du courant est nécessaire, sinon l'on réaliserait encore le mouve-

ment perpétuel. Lord Kelvin et von Helmholtz ont déduit, nous n'avons qu'à le rappeler, les lois de l'induction du principe de la conservation de l'énergie : le principe de Lenz en est une expression. On constitue des génératrices d'électricité en faisant tourner un rotor dans un champ. La théorie des fluides imposait d'admettre, contre toute vraisemblance, que les flots d'électricité qui s'en écoulent sortaient des conducteurs ; ceux-ci auraient donc contenu des quantités inépuisables de fluide neutre. On considérait maintenant l'électricité engendrée comme le fruit direct et le prix du travail dépensé pour entretenir la rotation de la machine, en surmontant ses résistances actives et passives. Ce travail devient encore électricité et chaleur : la perfection de la source consiste précisément à réduire au minimum le développement de chaleur. Telles qu'elles sont, ces machines sont par conséquent thermiques autant qu'électriques. Analogues à celles qui ont pour unique objet de transformer la chaleur d'un combustible en travail, elles transmutent aussi bien de l'énergie électrique en mécanique que réciproquement ; elles sont elles-mêmes réversibles. L'électricité nous apparaît dès lors comme une forme de l'énergie équivalente à de l'énergie calorifique, lumineuse ou autre, mais de qualité supérieure, car elle est, avec l'énergie mécanique, la forme la plus noble de l'énergie. Cette simple formule donne la clef de tous les phénomènes dans lesquels l'électricité se produit, se transforme et se transporte au loin. Finies les stériles discussions sur les deux fluides de Symmer ou le fluide unique de Franklin : ce sont des considérations énergétiques qui donnent la clef de l'énigme !

Mais il faut s'entendre sur le sens à donner aux mots. Une quantité d'électricité ne représente pas une quantité d'énergie par elle-même, pas plus que ne représente de travail un kilogramme d'eau renfermé dans

un bief d'amont, si l'on ne s'occupe pas de la position qu'il peut occuper en aval ; il faut multiplier ce kilogramme par la hauteur de chute possible, pour calculer le travail qu'il peut développer. En d'autres termes, la quantité d'électricité est un facteur d'énergie, le facteur qu'il faut multiplier par le facteur tension, pour obtenir une équivalence en travail. Il n'y a pas d'équivalent mécanique d'un coulomb, mais d'un coulomb-volt ou joule.

En adhérant à ces nouvelles manières de voir, on décrétait de mort la théorie substantielle de l'électricité, liée au concept particulier des fluides.

Elle devait, du reste, subir une dernière et plus grave épreuve.

Une série de découvertes, qui allaient devenir sensationnelles, vinrent alors apporter un puissant concours au mouvement d'opinion que nous venons de retracer. L'ancienne théorie n'avait pas fait prévoir ces découvertes ; elle fut impuissante à les expliquer. Tel était le cas des phénomènes communs à la lumière et à l'électricité. L'observation, faite depuis longtemps, que les corps diaphanes sont d'ordinaire isolants et les corps opaques, conducteurs, fut une première indication ; elle révélait entre ces agents une parenté qui devait se montrer chaque jour plus étroite. Les phénomènes de Faraday et de Kerr, notamment la biréfringence produite dans le champ des puissants électro-aimants, et la polarisation rotatoire magnétique, puis l'augmentation de conductibilité du sélénium, engendrée par illumination, constituèrent des données de plus en plus positives, auxquelles s'ajouta bientôt la loi qui rattachait les pouvoirs inducteurs spécifiques des diélectriques à leurs indices de réfraction par une relation mathématique que l'expérience confirmait d'une manière remar-

quable (1). Voici alors que les vitesses de propagation mesurées par Weber et Kohlrausch se trouvèrent voisines de la vitesse connue de la lumière. Enfin, le génie de Maxwell lui fit découvrir, par l'examen de leurs équations de dimensions (2), que le rapport des unités électromagnétique et électrostatique de quantité était une vitesse ; il devina que cette vitesse était celle de la lumière, et la comparaison pratique de ces unités conduisit à une valeur voisine de 30 milliards ; or, la vitesse de la lumière est précisément de 30 milliards de centimètres !

De si nombreuses et si remarquables concordances ne pouvaient être le fruit du hasard, ni le résultat de coïncidences fortuites ; elles établissaient l'existence d'une liaison intime entre les phénomènes lumineux et électriques, d'une liaison tellement intime, qu'on se vit amené à les identifier. Interrogée sur la cause qui pouvait leur être commune, la théorie matérielle restait muette. En attendant qu'elle trouvât une réponse, on la pria de s'effacer.

Entretemps l'expansion des idées énergétiques coïncidait avec le plus merveilleux essor dans tous les domaines : on pouvait croire qu'il leur était dû.

La science de l'électricité était ainsi invinciblement aiguillée sur une voie nouvelle : nous allons l'y suivre.

(1) Cette loi, formulée par Maxwell, a pour expression $n^2 = K$; n est l'indice de réfraction des radiations lumineuses de grande longueur d'onde ; K est le pouvoir inducteur spécifique, c'est-à-dire la constante spécifique du diélectrique, égale à l'inverse du paramètre k de la formule de Coulomb, ainsi que nous l'avons déjà dit

(2) Les équations des formules de dimension représentent la relation qui rattache les unités dérivées aux trois unités fondamentales de longueur L, de masse M et de temps T ; elles font voir de quelle manière les phénomènes dépendent des éléments primordiaux et irréductibles d'espace, de matière et de temps.

Le rapport des deux unités de quantité est $\frac{L^{3/2} M^{3/2} T^{-1}}{L^{1/2} M^{1/2}} = \frac{L}{T}$; c'est donc bien une vitesse.

Il est intéressant de déterminer la date à laquelle s'est produite cette évolution des doctrines électriques. Nous la trouvons inscrite dans les écrits du milieu du siècle dernier.

Dans la 4e édition de son *Traité élémentaire de Physique,* paru en 1847, Péclet, professeur de physique à l'École Centrale des arts et manufactures, exposait encore l'hypothèse classique des deux fluides matériels, en disant qu'elle « satisfait complètement aux faits » observés » ; mais c'en était l'éloge funèbre, car, quelques pages plus loin, il émettait l'avis que « tout espace » est rempli d'un fluide électrique, qui ne peut être » que l'éther », et il estimait que cette nouvelle manière de concevoir l'électricité présentait « bien plus de probabilité ». Il rompait donc avec le concept des deux fluides *sui generis,* considérés comme entités spéciales et c'était déjà dans l'éther qu'il cherchait la cause des actions observées (1).

En 1852, A. de la Rive faisait un pas de plus. « Il » est bien probable, disait-il, que l'électricité, au lieu » de consister en un ou deux fluides spéciaux, n'est » que le résultat d'une modification particulière dans » l'état des corps, modification qui dépend de l'action » mutuelle qu'exercent les unes sur les autres les par- » ticules pondérables de la matière et le fluide subtil » qui les entoure de toutes parts, qu'on désigne sous le » le nom d'éther, et dont les ondulations constituent la » lumière et la chaleur » (2). L'électricité n'est conséquemment pas une chose; c'est un état, une manière d'être ; ce n'est pas une substance, c'est un accident ; un accident, dont la matière pondérable et l'éther impondérable sont le support.

(1) Péclet, *Traité élémentaire de physique ;* 4e édition en 2 volumes (Paris, Hachette et Cie, 1847), pages 68 et 81.

(2) A. de la Rive, *Traité d'électricité théorique et appliquée,* en 2 vol. (Paris, J. B. Baillière, 1854), page 16. La préface est datée de 1852.

Lamé développe la même idée en la généralisant dans les termes suivants : « Il n'est plus possible » d'arriver à une explication rationnelle et complète » des phénomènes de la nature physique, sans faire » intervenir l'éther : on n'en saurait douter ; cette » intervention sagement conduite trouvera le secret » ou la véritable cause des effets que l'on attribue au » calorique, à l'électricité, au magnétisme, à l'attrac- » tion universelle et à la cohésion, aux attractions » chimiques, etc. » (1). La pensée directrice de Lamé était celle de l'unité, qui devait, dès ce moment, dominer toute la physique et la rénover, par l'application des principes de la thermodynamique et de l'énergétique.

C'est, en somme, vers ce but commun que convergeaient alors les efforts de tous : mais les idées qui devaient y conduire se heurtaient souvent. Ainsi Grove répudiait l'hypothèse des deux fluides et il abondait dans le sens de la manière d'être, mais il ne voulait pas en appeler à l'éther, par suite d'une aversion invincible pour ce qu'il désignait par le nom d' « entités subtiles ». Dans son bel ouvrage sur la corrélation des forces physiques (2), il déclarait que les phénomènes de la physique inorganique doivent être considérés « plutôt comme des affections ou des modifications de » la matière ordinaire que des entités spéciales sub- » stantielles par elles-mêmes ». Parlant plus particulièrement de l'électricité, il disait plus loin : « J'ai passé » successivement en revue, toutes les classes connues » des phénomènes de l'électricité, et il n'est pas un » seul effet électrique où l'on ne puisse mettre en » évidence un changement moléculaire... ; à mesure

(1) Lamé, *Leçons sur la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides* (Paris, 1852).

(2) Grove, *Corrélation des forces physiques ;* traduction Moigno, sur la 3e édition anglaise (Paris, Tramblay, 1856), pages VIII, 124, etc. Seguin annota l'ouvrage en développant les mêmes idées sur les forces.

» qu'on suit de plus près l'idée d'un fluide hypothé-
» tique, on la voit s'évanouir de plus en plus, et se
» résoudre dans l'idée d'une force ou d'un mouve-
» ment... ; les particules de la matière sont affectées par
» les forces de l'électricité et du magnétisme, d'une
» manière inconciliable avec l'hypothèse d'un fluide ».
Seguin exprimait les mêmes manières de voir dans des notes jointes à la 5e édition du livre de Grove, et Hirn les faisait siennes dans sa Thermodynamique.

Dans son bel ouvrage sur l'unité des forces physiques, publié en 1864 (1), le P. Secchi poursuit, lui aussi, l'objectif « d'enfermer dans une synthèse générale toutes les forces de la nature et de les réduire à un principe unique ». Il parle avec dédain de l'époque où l'on « admettait sans difficulté l'existence d'une demi-douzaine de fluides impondérables, qui étaient introduits à tout propos pour expliquer chaque fait particulier » ; il prend pitié des « forces métaphysiques », des entités qui ne sont « ni esprit, ni matière » de Grove, Seguin et Hirn et les traite de « nébulosités ». Pour lui, il place dans l'éther même le siège des modifications qui produisent les phénomènes électriques ; comme la chaleur et la lumière, l'électricité est une « simple modalité de mouvement » ; les attractions et les répulsions sont des effets d'une accumulation d'éther ; un courant électrique est un flux d'éther capable d'entraîner avec lui la matière pondérable, etc.

Une leçon d'ouverture d'un cours de physique expérimentale, professé au Collège de France par A. Bertin, leçon recueillie par la Revue des Cours scientifiques de la France et de l'étranger (2), nous

(1) Le P. Secchi a commencé de publier ses idées dès l'année 1858, dans le Bulletin de l'Académie Tiberine ; la première édition de l'*Unita delle forze fisiche* parut en 1865. Le Dr Delechamps en a donné une traduction, faite avec le concours de l'auteur sur la seconde édition italienne (Paris, Savy, 1874) ; nous lui empruntons nos citations.

(2) Revue des Cours scientifiques, 15 décembre 1866.

donne l'état de l'opinion relativement à la théorie matérielle en 1866 : le professeur démontre que « de quelque manière qu'on torture la théorie » des deux fluides, on n'en peut rien tirer d'acceptable : la voilà donc condamnée sans appel. Pour Bertin il n'y a plus qu'un seul fluide, et ce fluide est l'éther : « la chaleur et la lumière seraient un effet de vibration, alors que l'électricité est un effet de masse ». Et le trop ingénieux physicien explique et développe sa pensée (elle avait besoin de l'être), avec une conviction digne d'un meilleur sort, car personne ne se souvient plus guère des ingénieuses élucubrations de Bertin et il n'a du reste rien survécu non plus des essais du P. Secchi, de Grove, de Seguin, de Lamé, de Hirn, d'Edlund, etc., voire même de ceux plus récents du P. Leray (1) et d'autres, soit qu'ils aient fait de l'électricité un élément dynamique agissant à distance, soit que plutôt (c'était la grande majorité) ils aient réduit les phénomènes à des mouvements ou bien même à des variations de tension des éléments de l'éther.

Ces dernières tentatives étaient les plus rationnelles, car on avait de multiples raisons de vouloir localiser dans l'éther l'énergie dont l'évolution détermine les actions électriques. Mais on entrait dans un monde inconnu et, pour l'explorer, il fallait une méthode prudente et patiente. Avant de se lancer dans des excursions hâtives, à travers un champ mal frayé, on aurait dû sonder longuement et étudier à fond le terrain sur lequel on s'aventurait. Or, tous paraissaient oublier qu'une théorie s'édifie comme un monument, pierre par pierre, et qu'on ne doit poser chacune

(1) P. A. Leray, *Essai sur la synthèse des forces physiques*, 1885. *Complément à l'essai*, 1892 (Paris, Gauthier-Villars). Le savant eudiste est revenu en partie au concept de la monade leibnizienne ; il admet que le monde est formé de trois sortes de matière : l'éon (fluide primordial), l'éther et la matière proprement dite ; il repousse toute action à distance et demande l'explication des phénomènes à des chocs des parties de la matière.

d'elles dans son logement qu'après avoir bien assujetti et maçonné celles sur lequelles elle prendra son assise. Ils se laissaient d'autre part entraîner à proposer des hypothèses nouvelles, alors que la logique imposait au contraire de réduire le nombre de celles qu'ils conservaient nécessairement.

Ce n'est pas à dire que ces travaux n'aient pas eu leur utilité. On les justifierait suffisamment en rappelant que « la conjecture a toujours été l'embryon de la théorie ». « Toutes les sciences, disait aussi Fontenelle, » ont leur chimère, après laquelle elles courent sans » pouvoir l'atteindre ; mais, en chemin, elles attrapent » d'autres connaissances fort utiles ». Des résultats négatifs sont encore des résultats : en signalant que tel sentier aboutit à une impasse, on évite à ceux qui suivent de s'y engager.

Nous croyons pouvoir dire aujourd'hui que les physiciens du milieu du siècle ne faisaient qu'entrevoir le terme vers lequel il fallait tendre, sans bien se rendre compte de sa position exacte.

Tout le monde tombait d'accord sur un point, c'est que la théorie des fluides matériels (théorie unitaire aussi bien que dualistique) était irrémédiablement compromise, et qu'il importait de s'en affranchir ; mais on ne s'entendait plus sur la théorie qu'on lui substituerait.

On se ralliait avec ensemble autour de plusieurs grandes idées maîtresses, nous dirions volontiers autour de quelques idées centrales, fort élevées, séduisantes autant que suggestives, très larges, même trop larges. Les physiciens obéissaient avec ensemble à cette tendance « vers l'unité et la simplicité », dont Poincaré devait plus tard faire la loi des recherches. Ils se redisaient avec conviction le mot de Fresnel, que « si quelque chose doit révéler les secrets de la » constitution intérieure des corps, c'est l'étude appro-

» fondie des phénomènes de la lumière », et ils demandaient à l'Optique la méthode qui devait conduire l'Électricité au succès. L'éther électrique ne pouvait différer de celui des ondulations lumineuses, disaient-ils, car il était difficile d'admettre qu'il y en eût deux, se pénétrant l'un l'autre. Ils invoquaient de plus avec confiance les principes de l'Énergétique, qui dominent toutes les manifestations naturelles et contribuaient alors si puissamment à l'unification des doctrines théoriques et au splendide essor des applications dans tous les domaines de la science et de l'industrie. Tels étaient les mots d'ordre, qui devaient être entendus de tous et leur servir de mots de ralliement et de signaux pour orienter leurs pas dans une direction commune.

Mais il est plus aisé de démolir et de jeter bas une construction branlante que d'en édifier une nouvelle.

On avait largement décousu, il fallait recoudre : or, les morceaux dont on disposait étaient riches, mais leurs couleurs ne s'harmonisaient pas toujours.

En somme, la formule générale de l'Électricité-accident fournissait les éléments d'une brillante introduction et d'une belle entrée en matière : mais, l'idée originelle étant énoncée, il s'agissait ensuite d'écrire et de développer les équations dans lesquelles s'incarnaient les thèses nouvelles ; les prémisses posées, il fallait en faire jaillir les réponses aux questions concrètes, qui se présentaient d'elles-mêmes. L'Électricité-accident est-elle une manière d'être de la matière pondérable ou bien de l'éther, ou de l'une et de l'autre ? Est-ce un mouvement périodique et rythmé ? Dans cette hypothèse, de quelle nature est ce mouvement ? Est-il aux trajectoires rectilignes ou circulaires ? Quelle explication donner en ce cas des phénomènes de l'électro-statique, et comment rédiger ce premier chapitre de l'électricité, qui la prend au repos et constitue la science de ce qu'on est convenu d'appeler l'électricité

de position ? Quelle idée se faire des champs, des lignes et des tubes de force ? On ne pouvait plus dire qu'une quantité localisée en un point était la cause des forces et le point d'application des forces ; ce n'était plus dans cette quantité qu'on devait chercher le siège des phénomènes, mais dans le milieu ambiant, dans l'éther vraisemblablement. Or, le mécanisme de ces actions était à découvrir ou à inventer. Que mettre à la place des mémoires classiques de Poisson et de lord Kelvin, relatifs à la distribution des quantités sur la surface des conducteurs, et, en particulier, que substituer aux calculs qui les avaient conduits à la détermination des actions de deux sphères conductrices, avec une précision qui avait été un des triomphes de l'ancienne théorie ? Que transporte enfin un courant dont l'intensité est définie par le passage d'une quantité déterminée dans l'unité de temps ? Ce n'étaient pas les seuls, mais c'étaient les premiers problèmes à résoudre, en s'inspirant des tendances qui prévalaient.

Pour nous rendre compte de la marche de la science dans cette voie, nous dépouillerons d'abord les œuvres didactiques, qui ont vu le jour à partir de la seconde moitié du siècle, et nous dresserons le bilan de ce qui a été réalisé dans ce laps de temps.

Il est difficile de se tirer des ornières d'un mauvais chemin dans lequel on s'est engagé ; ceux qui font la science subissent d'autre part les exigences de ceux qui la reçoivent. Ces derniers, pleins du souvenir de l'ancienne doctrine, qui avait nourri leur jeunesse, comparaient ses raisonnements simples et clairs, ses images lumineuses, ses calculs précis aux solutions vagues, diffuses, souvent peu cohérentes, proposées individuellement par les esprits dirigeants et ils se prenaient à regretter les bons vieux fluides. Les auteurs ont intérêt à donner satisfaction à leurs lecteurs, mais ils doivent plus encore chercher la vérité : *amicus*

Plato, sed magis amica veritas. Il s'agissait de faire des concessions aux habitudes et aux désirs des premiers, sans trahir l'autre. Ils furent donc amenés à conserver ce qu'on pourrait de la terminologie et des méthodes d'autrefois, tout en laissant entendre et lire entre les lignes que l'on était devenu sceptique pour le concept matériel de l'Électricité-substance, et qu'on ne croyait plus aux fluides, ni surtout à leurs actions à distance. C'était un double rôle, difficile à jouer. On évitait difficilement des inconséquences de langage : on s'en accusait humblement et l'on s'en excusait comme on pouvait. Le plus souvent on invoquait « la tyrannie des mots légués par le passé ». Grove subissait, comme les autres, « cet esclavage des idées par les mots » et il se plaignait ingénument de ce que, « pour exprimer une opinion différente des opinions reçues », il se voyait contraint de « se servir des mots qui impliquent les opinions reçues » (1). Le savant anglais plaidait la cause de tous en se couvrant de ces nécessités des mots, qui le dispensaient d'avouer le flottement et l'imprécision des idées dominantes et la situation hybride de la science, en cette époque de transition et en cet interrègne sans gouvernement obéi.

Les professeurs de l'enseignement secondaire étaient assurément ceux qui souffraient le plus de cet état de choses. La première question que leur posent leurs jeunes élèves — cet âge est sans pitié — est toujours celle-ci : « Maître, qu'est-ce que l'électricité ? » Le maître ne peut guère leur faire la réponse sentencieuse de Joseph Bertrand : on avoue à des hommes mûrs, on ne confie pas à des enfants — cela les amuserait trop — que l'on ignore le premier élément de la chose qu'on est chargé de leur enseigner. On ne peut non plus expliquer à des débutants pour quelles raisons on

(1) *Loc. cit.*, page 115.

a perdu la foi aux fluides, attendu qu'il faudrait leur narrer l'histoire de la défaite des doctrines émissionistes, leur faire saisir la différence entre la substance et l'accident, les entretenir des formes et qualités de l'énergie et d'autres choses encore. Dans ces conditions, on est condamné à user de faux-fuyants et c'est ce qu'ont fait les auteurs les plus classiques du milieu du siècle.

La lecture des livres de Becquerel, Pouillet, Despretz, Deguin, Pinaud, Ganot, Boutet, de Monvel, Drion et Fernet, etc., donne lieu à cet égard à de curieuses et bien intéressantes observations. Pour quelques-uns d'entre eux, il n'y a rien de changé depuis Dufay et Symmer, et les deux fluides continuent d'être des entités, possédant tous les attributs de la substance ; on ne met pas en doute leur existence réelle, tout en les laissant dans une certaine pénombre. Les autres commencent, avec un souci croissant — le progrès de leur mentalité se manifeste dans leurs éditions successives — à substituer au mot suranné de fluide des circonlocutions moins compromettantes. Ainsi ils parleront d'« états électriques différents » ; ils annonceront qu'il y a « deux espèces d'électrisation »; ils définiront la « quantité d'électrisation ». Mais ce sont des préoccupations oratoires d'exorde, et des artifices de première page; dès la dixième page, les mots proscrits sont revenus sous la plume de l'écrivain, comme revient l'habitude, au galop, tant est fort cet esclavage dont gémissait Grove, et tant on trouvait surtout de motifs de maintenir les anciens errements; on y persévérait faute de mieux. C'est ce que confessaient ingénument Drion et Fernet, en s'excusant de paraître adhérer encore à la théorie des deux fluides : « à cette théorie. écrivaient-ils en 1861, on peut faire un grand nombre d'objections ; cependant c'est elle qu'admettent encore la plupart des physiciens français, à

cause de la facilité avec laquelle elle permet d'expliquer tous les résultats de l'expérience ou même d'en prévoir de nouveaux... et de grouper aisément des faits, qui conserveraient d'ailleurs toute leur valeur, alors même qu'une autre théorie paraîtrait plus tard devoir lui être substituée » (1).

On aurait pu croire que les Traités généraux destinés aux élèves des classes de Spéciales et aux auditeurs des cours de l'enseignement supérieur des Universités auraient suivi le progrès de plus près ; mais en consultant les ouvrages si justement estimés, parus avant 1900, de Verdet, Paul Desains, Jamin, Daguin, Boutan et d'Almeida, Brisse et André, Müller, Wüllner, Van Tricht, etc., on est obligé de constater que les mêmes causes ont produit les mêmes effets ; et l'on retrouve la même attitude vis-à-vis des fluides, pour ce qui est des choses comme des mots, dans les excellents Traités spéciaux de Joubert, puis de Mascart et Joubert, Gordon, Gariel, Pellat, Wiedemann, Eric Gérard, Joseph Bertrand, etc. Pour ne point se priver des avantages d'exposition que procure la théorie substantielle, on ne rompt pas avec elle ; mais on ne lui attribue d'autre rôle que celui d'un modeste et utile instrument de travail : on adhère aux principes proclamés par Faraday et par son école, et l'on en fait un centre commun autour duquel se grouperont les propriétés de l'électricité, considérée comme une manière d'être, et celles des milieux par lesquels ces propriétés se manifestent et se transmettent : mais on ne réussit qu'à juxtaposer, on ne marie pas ces doctrines, et l'on tâtonne dans l'établissement d'une théorie d'ensemble. Ce n'est guère que dans les leçons de Vaschy, éditées en 1890 (2), que l'on trouve une ébauche d'un exposé

(1) Drion et Fernet, *Traité de physique élémentaire* (Paris, Masson et fils, 2me édition, 1861) ; p. 358.

(2) Vaschy, *Traité d'Électricité et de Magnétisme* ; 2 vol. (Paris, Baudry et Cie, 1890).

méthodique de la thèse de l'Électricité-accident. Cette théorie n'avait donc pas pris la forme didactique qui lui aurait été nécessaire pour évincer de l'enseignement et y supplanter celle de l'Électricité-matière; par suite, les vues nouvelles ne se sont pas vulgarisées et répandues dans le public. En 1860, l'ancien édifice s'était écroulé, a écrit Chwolson (1), et l'on travaillait au nouveau; mais celui-ci n'avait pas encore été rendu habitable, en 1890, lorsqu'on a renoncé à pousser plus loin sa construction. Il est et restera inachevé.

C'est dans les écrits de Faraday et surtout dans le célèbre Traité d'Électricité de Maxwell (2) que l'on croirait devoir trouver un exposé complet de cette électricité nouvelle; mais, ici encore l'on ne découvre pas ce que l'on cherchait. Faraday n'a fait que préparer les voies et déblayer le terrain ; son continuateur a surtout consacré ses efforts à « réduire l'électromagné- » tisme à ne plus être qu'une science dynamique ». Il a développé les conceptions de Faraday, qui plaçait « l'origine des phénomènes dans des actions réelles » s'exerçant dans le milieu » ; mais son vaste esprit s'empare aussitôt du sujet et l'élargit tellement qu'on a peine à le suivre. Le Traité est d'une étude ingrate : « la première fois, a dit H. Poincaré (3), qu'un lecteur » français ouvre ce livre, un sentiment de malaise et » souvent même de défiance se mêle d'abord à son » admiration ». Et il ajoutait : « le savant anglais ne » cherche pas à construire un édifice unique, définitif » et bien ordonné ; il semble plutôt qu'il élève un » grand nombre de constructions provisoires et indé-

(1) Chwolson, *op. cit.* : Tome IV, page 12.

(2) La première édition de *A treatise on Electricity and Magnetism* a paru à Oxford en 1873. La traduction française de M. Seligmann a été faite d'après une deuxième édition, de 1881, publiée après la mort de l'auteur, et imprimée en 1885 (Paris. Gauthier-Villars, 1885); Cornu, Potier et Sarrau y ont ajouté des Notes et Éclaircissements.

(3) H. Poincaré, *Électricité et optique*, préface.

» pendantes, entre lesquelles les communications sont » difficiles et quelquefois impossibles ». Le grand maître français a pris son parti du système des constructions indépendantes, et il a cherché à faciliter les communications entre elles, autant que faire se pouvait, dans ses cours de la Sorbonne de 1888 et 1889. Ses admirables leçons, publiées en 1891, sont une des plus belles œuvres de physique de l'incomparable professeur (1). C'est dans ce livre qu'il faut suivre les idées de Maxwell, si on veut les comprendre, en pénétrer la profondeur, sous leur apparente incohérence, en découvrir les liaisons et se les assimiler. Pierre Duhem se consacrait à la même étude, en 1900 (2), et la poursuivait avec la pénétration qui lui était habituelle; mais il présentait l'œuvre du savant anglais avec moins de bienveillance que Poincaré et en livrant carrière à son esprit critique ; il y relevait « des disparitions de termes gênants », des « transfor- » mations de sens d'une lettre », qui permettaient de franchir sans trop d'encombre des pas dangereux : s'il ne va pas jusqu'à accepter la qualification de « coup de pouce » — *venia sit verbo !* — il rappelle que Maxwell a reconnu lui-même, dans la préface de son Traité, qu'il avait fait souvent « l'office d'avocat, plutôt que de juge » (3) de ses explications. Mais n'avons-nous pas tous plaidé *pro domo ?* La discussion prend quelquefois un ton acerbe et passionné dans Duhem ; ses conclusions restent néanmoins toujours justes, nous

(1) Ces leçons forment la substance de l'ouvrage déjà cité ci-dessus, *Électricité et optique*, portant en sous-titre de la première partie : *les théories de Maxwell*, et de la troisième partie : *les théories de Hertz et de Lorentz*. Je cite d'après la deuxième édition de 1901, en un volume (Paris, Carré et Naud).

(2) Ce remarquable travail a paru en 1902, dans les tomes XXIV et XXV des Annales de la Société Scientifique, de Bruxelles, sous le titre : Les théories électriques, de J. Clerck Maxwell ; pages 239, 17 et 293 : il a été réimprimé plus tard en un volume séparé.

(3) Maxwell, *Traité d'Électricité*, traduction française, préface, page XV.

nous reprocherions de ne pas le reconnaître et de ne pas le dire hautement.

Hertz était privat docent à l'École Technique de Karlsruhe, lorsqu'il commença, en 1884, à développer les idées du génial maître de Cambridge, auquel il devait associer son nom, en complétant d'abord son œuvre théorique, puis en lui apportant une merveilleuse confirmation expérimentale.

En somme, c'est dans les écrits de Faraday, de Maxwell et de Hertz qu'il faut chercher les grandes lignes originales de la théorie fondée sur la thèse de l'Électricité considérée comme une manière d'être.

(A suivre)

A. Witz
Correspondant de l'Institut.

COMMENT
ON ENTENDAIT LE CANON

On a été bien étonné, pendant la guerre, de l'énorme portée du son du canon. 20 ou 30 kilomètres paraissait autrefois une distance qui ne devait que bien rarement être dépassée. On citait comme extraordinaires celles de 50 km. observée en Italie par Bianconi en 1740, de 40 km., notée par La Condamine à Cayenne en 1744. En 1873, dans ses expériences de South Foreland, Tyndall, qui ne cherchait pas, il est vrai, à atteindre la limite de perceptibilité, ne dépassa jamais 20 km.

En revanche, des personnes dignes de foi affirment avoir entendu, le 1er septembre 1870, le canon de Sedan à Sclayn, Namur (87 km.) ; les salves de la revue navale de Spithead (île de Wight), le 17 juillet 1867, semblent avoir été perçues dans le centre de l'Angleterre jusqu'à 180 km. ; enfin, la canonnade de quelques-unes des grandes batailles du XIXe siècle, par exemple, Essling, Leipzig, Sadowa et aussi le bombardement de la citadelle d'Anvers en 1832, auraient été entendus à 200 ou 300 km. (1). Ces derniers chiffres sont tout à fait exceptionnels. Leur rareté, le petit nombre de ceux qui les affirmaient et l'impossibilité pratique d'un contrôle sérieux, n'avaient pas permis d'attacher à ces observations une grande importance.

(1) Meteorologische Zeitschrift. J. N. Dœrr, mai 1915, p. 207.

Aujourd'hui, il y a des millions de personnes qui ont entendu le canon à 100 ou 200 km., des milliers à 300 km. et quelques-unes plus loin encore; et cela, non pas pendant quelques minutes, mais durant de longues heures, souvent pendant des semaines et des mois entiers. En France, la courbe qui limite les régions d'audition à distance maximum, semble passer (1) par Chamonix, Annecy, Verdun-sur-Doubs, Beaune, Nevers, Bourges, Blois, Bagnoles-de-l'Orne, Mortain, Caen, (250 à 300 km.) ; pour se continuer, en Angleterre, par Brighton, Godalming, les environs de Londres, Norwich ; en Hollande, par Groningue (300 km.) ; en Allemagne, par Gronau (Westphalie, 400 km.), Bamberg, Mülhausen (Thuringe, 430 km.). Sur le théâtre germano-russe, on prétend que la canonnade de Tannenberg fut perçue à Tribsow (Poméranie), à 450 km.

Évidemment, ces distances extrêmes n'étaient pas atteintes tous les jours. Elles demandaient des conditions qu'on a pu préciser peu à peu en collationnant toutes les observations, et il en est résulté une théorie fort intéressante que nous allons essayer d'exposer. Dans d'autres cas, la distance d'audibilité se montrait extrêmement réduite, souvent à quelques kilomètres seulement. A certaines époques, il n'était pas rare pour les troupes de relève ou de ravitaillement qui se rendaient de nuit aux tranchées, de voir toute la ligne de feu illuminée par d'innombrables éclatements, sans rien percevoir du bruit des explosions.

Mais le plus curieux, c'était incontestablement l'existence d'une zone de silence comprise entre la zone d'audibilité normale ou rapprochée, dont la largeur pouvait aller de quelques km. à 100 km., et la zone

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. 163 (1916), p. 78, C. Bigourdan.

d'audibilité anormale ou lointaine, qui commençait d'ordinaire à des distances comprises entre 100 km. et 200 km. Cette zone de silence manquait souvent, même dans les cas d'audition à très grande distance. Elle est extrêmement intéressante au point de vue théorique, et elle a incontestablement provoqué les progrès les plus marquants dans les essais d'explication.

A vrai dire, ce n'est pas la guerre qui a fait découvrir la zone de silence et, en fait, les théories aujourd'hui acceptées avaient déjà été énoncées à propos d'observations antérieures. Ce sont les marins qui ont les premiers reconnu le phénomène, dangereusement gênant pour la navigation par temps de brume, quand on n'a plus pour se diriger que les signaux sonores. C'est là une base extrêmement incertaine pour établir dans le voisinage des côtes la route d'un bâtiment; car la portée du son varie dans des proportions et avec une irrégularité absolument déconcertantes. Tyndall (1) cite les passages suivants d'un rapport du général américain Duane sur les sifflets à vapeur employés comme signal de brume sur la côte du Maine (États-Unis). « On les a souvent entendus à vingt milles, et il est tout aussi fréquent de ne pas les entendre à dix milles, et cela sans qu'il y ait une différence perceptible dans l'état de l'atmosphère... Les difficultés les plus embarrassantes résultent du fait que le signal paraît souvent entouré d'un anneau dont le rayon varie de 1 à 1 1/2 mille et d'où le son paraît entièrement absent. Ainsi, en s'éloignant directement d'une station, le son est perçu sur un parcours d'un mille, on le perd ensuite sur un parcours à peu près équivalent, après quoi il s'entend de nouveau distinctement. Ce caractère est commun à tous les signaux acoustiques, et on a eu l'occasion de l'observer dans toutes les stations. »

(1) On Sound, 4e édit. 1883.

On doit à Tyndall lui-même une série d'expériences très complètes sur la propagation des signaux acoustiques, sirènes, sifflets, canons de divers calibres *(loc. cit.)* exécutées en 1873 au large du cap South Foreland, près de Douvres. Il y fut reconnu que la variabilité de la portée du son n'est aucunement en rapport avec la transparence optique de l'air. Au contraire, c'est souvent par beau temps que l'atmosphère se laisse le moins pénétrer par les ondes sonores. Tyndall attribue cette opacité au fait de l'existence de courants d'air chaud ascendants sur lesquels le son subit des réflexions et réfractions successives qui l'absorbent progressivement. Il réussit à confirmer cette explication par d'ingénieuses expériences de laboratoire. Contrairement à une opinion très répandue, il put s'assurer aussi que le brouillard et les nuages, comme tels, n'opposent aucun obstacle à la propagation du son. En particulier, ils ne donnent lieu à aucune réflexion ou écho, tandis qu'on observe souvent ces phénomènes sur les courants verticaux d'air chaud transparent aux rayons lumineux.

Comme d'autres observateurs, avant et après lui, Tyndall reconnut aussi l'influence du vent sur la propagation. Nous y reviendrons longuement. Disons seulement ici que la violence, les à-coups et les remous du vent, même dans la tempête, ne sont nullement un obstacle à la transmission du son, comme on pourrait être tenté de le croire. J'ai fait la même constatation, à diverses reprises, sur le bruit lointain du canon, en 1917 et en 1918.

Tyndall essaya d'expliquer la zone de silence par l'interférence des rayons reçus directement avec les rayons réfléchis par la surface de la mer. Stokes, en 1857, indiqua le premier, semble-t-il, que le vent contraire devait relever les rayons sonores, et Osb. Reynolds, en 1874, reconnut une influence semblable à la distribution des températures dans les couches

horizontales superposées de l'atmosphère. Fizeau insista sur les mêmes considérations en 1887, et on les a maintes fois reprises depuis lors (Rayleigh, Fujiwhara, de Quervain, etc.). Ce sont, actuellement encore, comme nous le verrons, les causes les plus vraisemblables des phénomènes que nous avons entrepris d'élucider.

Plusieurs éruptions de volcans, particulièrement celles de l'Asama, au Japon, de 1909 à 1912, et quelques explosions accidentelles de dépôts de dynamite ou de poudre : Fœrde, Westphalie, 14 décembre 1903; Eigerwand, chemin de fer de la Jungfrau, Suisse, 15 novembre 1908; Wiener-Neustadt, Autriche, 7 juin 1912, donnèrent lieu à des études très curieuses, qui posèrent nettement la question et la firent sortir du stade préliminaire. C'est là qu'on trouva, pour la première fois, des données authentiques sur l'apparition d'une zone de silence, non plus de 1 ou 2 milles, mais de 100 à 170 km. de rayon, suivie d'une zone d'audibilité anormale, s'étendant dans certaines directions jusqu'à 300 km. Les mêmes principes d'interprétation leur furent appliqués ; mais, en outre, une théorie nouvelle surgit, qui intéressait au phénomène une épaisseur d'atmosphère de 70 à 100 km. C'est la théorie de van den Borne, de Wegener et de van Everdingen, la seule qui reste en présence de la théorie de l'action du vent et de la température. Avant de nous occuper de décider entre elles, il sera utile de déblayer le terrain de quelques autres hypothèses beaucoup moins solides, mais qui ont eu cours dans certains milieux.

La plus répandue peut-être est celle de la propagation par le sol, qui a eu notamment beaucoup de partisans pendant la guerre. On ne saurait nier qu'en certains endroits le grondement du canon ou le bruit

des explosions fût transmis par le sol. Mais il était facile d'en faire la preuve. Dans ce cas, le bruit était toujours bien plus net et plus fort quand on appliquait l'oreille contre terre. En réalité, ce mode de propagation était très exceptionnel et les grondements de canonnade lointaine que tout le monde entendait debout ou assis ne peuvent s'y ramener en aucune façon.

D'abord, la propagation par le sol ne serait évidemment pas influencée par la direction du vent, ou par la température de l'atmosphère. Or, nous verrons que c'est surtout de ces facteurs météorologiques que dépend le phénomène. En second lieu, la zone de silence devrait alors être déterminée par le plongement de la couche conductrice du son sous un terrain de nature différente et par sa réapparition consécutive à la surface. Or, il est très loin d'en être ainsi. Les canonnades qui avaient pour théâtre le sable ou l'argile des Flandres s'entendaient très bien, par exemple, sur la craie du Weald anglais. Quant au renforcement du son par les grottes, les carrières et autres cavités qui se rencontrent souvent dans les terrains calcaires, c'est le phénomène bien connu de la résonnance. Enfin, le son transmis par la terre, ou par les solides et les liquides en général, perd son caractère propre, son timbre. Dans les abris souterrains du front on distinguait très nettement par là les bruits d'explosion transmis par le sol de ceux qui venaient par l'air. Or, les grondements lointains du canon, si faibles qu'ils fussent, ne perdaient rien de leur caractère ; donc ils arrivaient par l'air.

Malgré l'autorité de Tyndall, il ne peut guère être question non plus d'interférences proprement dites. Les grondements du canon étaient d'origines et de propriétés trop différentes pour se prêter à l'interférence nette, qui demande des périodes de vibration régulières et identiques, ou même aux battements, qui

en supposent de voisines. De plus, comme le faisait déjà remarquer Rayleigh, en 1912, à propos de cette explication, avancée par Tyndall pour la zone de silence des signaux de brume, l'interférence produirait une série de bandes alternativement bruyantes et silencieuses, qui toutes auraient des largeurs bien inférieures à celle de la zone silencieuse. On n'a jamais rien observé de semblable.

L'entraînement, le transport du son par le vent, imaginé par quelques auteurs, ne peut se soutenir davantage. La vitesse du vent, en effet, est toujours si petite vis-à-vis de celle du son — à peine le dixième dans les tempêtes — qu'il est impossible de rapporter à son action les énormes différences de portée que l'on a constatées. Cette idée d'ailleurs n'a pu naître que dans les pays où la vraie nature de l'action du vent n'avait pas encore été reconnue. C'est, en effet, par vent contraire, on le sait maintenant, que le son se propage le plus loin. Dès lors, la question ne se pose même plus.

Ne restent donc en présence que deux théories : celle qui attribue la courbure des rayons sonores au vent et à la température, et qu'on a appelée, pour ce motif, la théorie météorologique ; et celle qui invoque leur passage dans les régions élevées et calmes de la stratosphère, où elle ne dépend que de la composition du milieu. On a donné à celle-ci le nom de théorie physique.

Commençons par nous faire une idée claire du mode d'action des causes supposées en jeu.

Nous éviterons, dans ce but, de parler de la réfraction et surtout de la réflexion des rayons sonores. Il s'agira, en effet, non de changements brusques de direction à la rencontre d'un plan nettement défini, séparant deux milieux de propriétés différentes, mais

d'une déviation progressive dans un milieu dont les propriétés changent d'une manière continue. Les rayons ne sont pas brisés, mais curvilignes. C'est la même chose que dans le mirage optique, à part le sens de la courbure, et la théorie est identique.

Elle se fait avec une précision qui ne laisse rien à désirer au moyen de la notion des ondes. On appelle surface d'onde l'ensemble des points qui sont dans la même phase de vibration, ou, si l'on veut, l'ensemble des points où un ébranlement parti de la source sonore est parvenu au bout d'un temps donné. La propriété fondamentale d'une surface d'onde quelconque est d'être normale en chacun de ses points à la direction de propagation de la vibration, c'est-à-dire à ce qu'on appelle ordinairement le rayon.

Dans un milieu homogène au repos, les vitesses de propagation sont évidemment identiques dans toutes les directions. Il en résulte immédiatement que les surfaces d'onde sont sphériques, et les rayons rectilignes. A mesure que l'onde s'éloigne de l'origine, l'énergie totale de la vibration se répand sur des surfaces croissant comme le carré de la distance, et par conséquent, l'énergie par unité de surface est proportionnelle à l'inverse de ce carré. A cette première cause d'affaiblissement vient le plus souvent se joindre l'amortissement, c'est-à-dire l'absorption par le milieu.

Mais l'atmosphère n'est ni homogène, ni au repos. La tranche inférieure, celle des 10 premiers km., est le siège de perturbations continuelles, et on l'appelle pour ce motif la *troposphère*. Son instabilité est due à son contact avec le sol échauffé par les rayons du Soleil. De là les vents et les nuages. De là aussi une décroissance moyenne de la température de l'air, d'un peu plus d'un demi-degré pour cent mètres de hauteur. Cette décroissance s'annule parfois, et alors on est en

présence d'un cas d'*isothermie* ; elle devient même négative quelquefois, et la température croît alors avec la hauteur : c'est une *inversion*.

Vers 8 à 12 km., suivant la saison, le thermomètre marque —50° à —60°. Là commence un domaine tout différent, qui a reçu le nom de *stratosphère*, parce qu'il est caractérisé, à l'inverse du précédent, par une très grande stabilité. Les ballons-sondes qui l'ont pénétré jusqu'à 29 km. de hauteur en ont rapporté des enregistrements de température uniformes : il est tout entier isotherme. D'un autre côté, les vents y semblent également beaucoup plus constants, et en tout cas soumis à un régime extrêmement différent de celui de de la troposphère.

A en croire certains savants (Hann, Wegener, van den Borne), il y aurait, outre les vents et la température, une troisième cause d'hétérogénéité dans l'atmosphère au point de vue acoustique. Ce serait une variation des proportions des divers gaz dont le mélange constitue l'air respirable. Près du sol on trouve, en volume, environ 78 % d'azote, 21 % d'oxygène, un peu d'anhydride carbonique et d'eau, de l'argon et autres gaz rares, enfin des traces d'hydrogène. Les analyses ont montré que cette composition reste invariable dans toute la troposphère ; et cela se comprend, car les vents y produisent un brassage énergique. Il n'y a d'exception que pour la vapeur d'eau, qui est éliminée peu à peu et disparaît à peu près totalement au seuil de la stratosphère.

A partir de cette altitude, d'après la théorie qui nous occupe, la proportion des gaz lourds diminuerait constamment au profit des gaz plus légers. L'oxygène céderait petit à petit sa place à l'azote, puis, au-dessus de 70 km., ce serait l'hydrogène qui l'emporterait, et peut-être, au delà de 200 km., un nouveau gaz encore à découvrir, le géocoronium. Mais nous n'aurons pas besoin de monter si haut.

La raison invoquée pour admettre cette variation de composition est très ingénieuse, trop ingénieuse peut-être. Elle repose sur une extension de la loi expérimentale du mélange des gaz, dite aussi loi de Dalton. Quand, dans une enceinte qui contient des gaz, on introduit un gaz différent ou des quantités nouvelles d'un gaz qui s'y trouvait déjà, le nouveau gaz se diffuse dans cette enceinte, et ajoute à la pression existante, la pression à laquelle il serait soumis, d'après la loi de Mariotte, s'il y était seul. On étend alors à l'atmosphère libre cette propriété, démontrée pour une enceinte fermée, et l'on admet que les divers composants de l'air atmosphérique se comportent aussi comme s'ils étaient seuls. Ils formeraient donc chacun une atmosphère particulière d'après ses propres lois, les diverses atmosphères coexistantes déterminant, en un point quelconque, une pression résultante qui est la somme des pressions dues à chacune d'elles en particulier.

Mais la pression dans une atmosphère libre est due uniquement à la pesanteur. Elle se mesure au poids d'une colonne de gaz allant jusqu'aux limites de cette atmosphère : elle est donc proportionnelle à la densité. Or, les densités des composants de l'air présentent de très grandes différences. De là une très curieuse conséquence. Comme la force élastique de tous les gaz est sensiblement la même, les plus lourds seront plus fortement comprimés, plus tassés, si l'on peut dire, dans les couches inférieures, et leur pression variera plus rapidement avec la hauteur. Ils seront concentrés vers le fond de l'atmosphère et les gaz légers vers le haut. Ainsi reparaîtrait en partie cette superposition par ordre des densités qui est la loi des liquides et que la diffusion abolit dans le cas des gaz.

Un calcul de première approximation montre que si, à l'altitude de 5 km. environ, la pression de l'air est

réduite à la moitié de celle qu'on trouve au niveau du sol, fait d'ailleurs observé directement, la pression particulière de l'hydrogène n'y perdrait encore que moins du vingtième de sa valeur. Cela revient à dire qu'en nous élevant à 5 km. nous aurons laissé au-dessous de nous la moitié de l'azote et de l'oxygène qui constituent la presque totalité de l'air, mais seulement le vingtième de la quantité totale d'hydrogène qu'il contient. Par conséquent, les couches situées plus haut renferment l'autre moitié de l'air atmosphérique total, et les dix-neuf vingtièmes de l'hydrogène : la proportion de celui-ci est donc considérablement renforcée.

A cette hauteur néanmoins et dans toute la troposphère, nous l'avons dit, les vents combattent la stratification et maintiennent l'uniformité du mélange. Mais les conditions changent dans les régions calmes de la stratosphère. C'est à 70 km. environ que la pression particulière de l'hydrogène tombe à la moitié de sa valeur au niveau du sol, tandis qu'à cette altitude celle de l'air est dix mille fois plus faible. Ici nous voyons croître très rapidement la concentration relative de l'hydrogène : il en reste encore la moitié du total, tandis que le mélange azote et oxygène est réduit au dix-millième.

Nous voici donc en présence de trois causes d'hétérogénéité de l'atmosphère : les vents, la température et les changements de composition. Toutes trois font varier la vitesse de propagation du son et se prêtent par là à l'édification d'une théorie des phénomènes acoustiques qui sont l'objet de ce travail. La formule qui relie la vitesse du son à la température est bien connue. C'est, en mètres, $V = 331 \sqrt{1 + \alpha t}$, t étant la température en degrés centigrades, α la constante des gaz. Quant à la vitesse du vent, elle s'ajoute algébriquement à la vitesse de propagation, ce qui paraît assez naturel *a priori* et a d'ailleurs été vérifié par Fujiwhara. Enfin, dans la

variabilité de composition du mélange gazeux, c'est la densité qui intervient au point de vue acoustique (1). On sait que sa racine carrée est inversement proportionnelle à la vitesse de propagation.

Or, des vitesses variables avec la hauteur déforment nécessairement les surfaces d'onde et par suite les rayons. C'est là le mécanisme fondamental des changements de direction de la propagation que nous avons à étudier. Aux grandes distances de la source la surface d'onde dans le voisinage du sol peut être considérée comme plane et verticale. Si alors la vitesse croît, par exemple, avec la hauteur, il est clair que la partie supérieure de l'onde va prendre de l'avance sur la partie inférieure, et l'onde tout entière se penchera en avant, ce qui entraîne le rabattement vers le sol du rayon sonore qui lui est normal. Dans le cas contraire, la tête de la surface d'onde sera en retard sur le pied, et l'inclinaison sera vers l'arrière, d'où relèvement du rayon sonore.

Macé de Lépinay et A. Pérot ont montré (2) que les divers rayons émanés d'un même point dans un milieu stratifié en couches horizontales à indices de réfraction régulièrement variables et qui suivent la loi du sinus, ce qui est le cas pour les rayons sonores comme pour les rayons lumineux, se recoupent à une certaine distance, de manière à former des caustiques ou nappes de rayons. C'est pour cela que l'intensité du son est remarquablement renforcée à la limite précise de la zone d'audition lointaine, fait que les observateurs ont souvent mis en lumière.

Il est une quatrième cause de changement de direc-

(1) Il s'agit ici de la densité d'un gaz par rapport à l'air, à pression égale. Quant aux variations de densité corrélatives aux variations de la pression, elles n'ont aucun effet sur la vitesse, contrairement à ce qui se passe pour les rayons lumineux.

(2) Annales de Chimie et de Physique, t. 27, 6e sér. (1892), p. 94.

tion des rayons sonores qu'on ne saurait négliger sans s'exposer aux pires méprises, c'est la diffraction, ou la diffusion du mouvement vibratoire tout autour du rayon proprement dit. On sait qu'elle est d'autant plus prononcée que la longueur d'onde est plus grande. Très peu apparente et décelable seulement par les procédés expérimentaux les plus délicats dans le cas des longueurs d'onde ultra-microscopiques de la lumière, elle prend une importance considérable dans la propagation des ondes relativement énormes du son. Tout le monde en connaît les effets. Personne n'ignore, par exemple, que le son contourne les obstacles avec une grande facilité. Il ne faudrait pourtant pas exagérer : un peu d'attention suffit pour faire reconnaître que si on entend derrière une maison un son dont la source est située de l'autre côté, on ne l'entend pas du tout avec la même force, et que son intensité augmente très notablement quand on se dirige vers le coin du bâtiment, c'est-à-dire quand on se rapproche de la direction rectiligne des rayons sonores. Dans ses expériences de South Foreland, Tyndall fut même très étonné de trouver si marquée l'*ombre* acoustique de certaines falaises voisines de la station émettrice des signaux. On saisit sans peine la portée de cette remarque quand il s'agit de sons très faibles, en somme, perçus à de très grandes distances.

Voyons maintenant comment ces divers principes d'explication s'adaptent aux constatations expérimentales.

Prenons d'abord le cas des sources sonores d'étendue restreinte : éruptions de volcans, explosions de dépôts de poudre, bombardements d'étendue limitée, etc. Sur les cartes qui résument l'ensemble des rapports reçus (1),

(1) Voir, par exemple, van Everdingen, REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES, 30 avril 1916.

on remarque immédiatement que la première zone d'audibilité affecte une forme grossièrement ovale, dont le grand axe est le plus souvent, semble-t-il, dans la direction du vent, bien que beaucoup de relations publiées omettent, malheureusement, de mentionner ce détail important. La source occupe ordinairement dans cette espèce d'ellipse le foyer qui reçoit le premier le vent, ce qui signifie qu'on entend plus loin *sous le vent* qu'à *contre-vent*. Au delà de l'aire d'audition normale, il y a silence dans toutes les directions, puis vient la seconde zone d'audibilité ou zone d'audibilité anormale. Elle commence à des distances qui sont généralement supérieures à 100 km., et souvent voisines de 160 km., avec une intensité maximum au début, conformément à la théorie de Macé de Lépinay et Pérot, et qui va ensuite en diminuant constamment à mesure qu'on s'éloigne davantage. Elle n'occupe jamais un tour d'horizon complet, mais le plus souvent un quadrant environ, deux tout au plus. L'axe de ce secteur n'est pas toujours diamétralement opposé à celui de l'aire d'audition normale ; mais il forme souvent avec lui un angle qui peut facilement aller jusqu'à 90°. La seconde zone d'audibilité fait souvent défaut. Il n'est pas rare non plus de la trouver directement soudée à la zone d'audibilité normale, c'est-à-dire que l'audition a lieu, sans lacune ni interruption, à toute distance de la source, jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres.

En résumé, le phénomène paraît être essentiellement dissymétrique et variable. Cette première constatation semble devoir être fatale à la théorie dite *physique*. Cette théorie, en effet, invoque des causes essentiellement symétriques par rapport à la source sonore, et immuables, savoir la composition et les températures invariables des couches de la stratosphère. Dès lors elle devient extrêmement invraisemblable.

Disons tout de suite que les observations faites sur le son du canon pendant la guerre l'ont fait abandonner

entièrement. Ces observations, nous le verrons dans la suite de cette étude, établissent d'une façon péremptoire que la propagation à grande distance dépend étroitement du vent et de la température. Or, le vent et la température qui règnent dans les couches basses de l'atmosphère n'ont aucune influence sur les couches élevées. M. van Everdingen, qui a défendu avec talent la théorie physique de van den Borne (*loc. cit.*), analysant les observations faites en Hollande sur le bruit des bombardements d'Anvers en octobre 1914, montre très bien que ces deux agents météorologiques n'étaient pas capables de dévier notablement le faisceau des rayons sonores, très élevés au-dessus de l'horizon, que cette théorie considère. Donc, quelles que soient les conditions qui règnent près du sol, il y a toujours sensiblement le même nombre de rayons qui pénètrent dans la stratosphère sous des angles favorables, ils s'épanouissent uniformément autour du centre dans toutes les directions, et le changement de vitesse avec la proportion croissante d'hydrogène est toujours plus que suffisant pour les rabattre vers le sol, puisque dans l'hydrogène pur la vitesse du son vaut 3,8 fois sa vitesse dans l'air. Au lieu d'être l'exception, la théorie physique exige donc que l'audition à grande distance soit la règle, et au lieu d'être dissymétrique, qu'elle soit d'une symétrie absolue. Elle ne saurait donc se concilier avec les faits.

Au point de vue théorique lui-même, elle est d'ailleurs d'une faiblesse extrême. Il faut noter d'abord que la composition de l'atmosphère dont elle part est purement hypothétique, basée qu'elle est, comme on l'a vu, sur une extrapolation, et sans aucun moyen, jusqu'à présent du moins, de vérification directe. En second lieu, elle se heurte à une objection capitale, soulevée récemment (1), et qui semble irréfutable : à savoir

(1) Physikalische Zeitschrift, 17, (1916), F. Noelke, p. 31 ; W. Schmidt, p. 333, — 18, (1917), E. Schrœdinger, p. 445.

qu'à 70 km. de hauteur, minimum généralement accepté par les partisans du système, la pression de l'atmosphère (moins de 0,1 mm.) est tellement faible que l'intensité du son, à la descente, tomberait nécessairement bien au-dessous du seuil de la perception. On sait, en effet, que le son ne se propage pas dans le vide, et les expériences classiques, exécutées avec la machine pneumatique ordinaire, montrent que l'affaiblissement de l'intensité avec la raréfaction de l'air se fait déjà sentir énergiquement à des pressions de l'ordre du cm. Or ici il s'agit d'un vide au moins cent fois plus avancé. Donc l'intensité du son, parvenu à 70 km. de hauteur, est déjà quasi nulle. De plus, il est impossible d'imaginer une cause plausible qui le renforcerait à la descente, et il est certain, au contraire, que les réflexions internes sur les couches de densité et de température croissantes doivent continuer à les affaiblir, comme à la montée. Dans ces conditions, leur perception auditive à grande distance devient un paradoxe insoutenable.

Actuellement, la faveur est donc revenue à la théorie météorologique, qui attribue la portée considérable du son, avec toutes les particularités qui s'y rattachent, aux seuls facteurs météorologiques, et notamment aux variations du vent et de la température.

Il est facile d'imaginer des combinaisons de températures et de mouvements atmosphériques capables de produire les effets acoustiques observés, et on reconnaît sans peine qu'elles sont de telle nature et aussi d'un ordre de grandeur tel qu'elles doivent souvent se trouver réalisées. En règle tout à fait générale d'abord, les rayons sonores ont une tendance à monter, parce que la température de l'air a ordinairement son maximum près du sol, et baisse à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère. Si alors il se rencontre plus haut une

inversion de température suffisante, le rayon montant peut être ramené à l'horizontalité, puis rabattu vers le sol, exactement comme les rayons lumineux dans le mirage, mais avec une courbure inverse.

Le vent agit de la même manière par ses variations de vitesse. Au niveau du sol il est toujours ralenti par le frottement et par les obstacles auxquels il se heurte. S'il est de même sens que la propagation du son, il inclinera l'onde en avant et rabattra le rayon sonore vers le sol ; s'il est de sens contraire, il inclinera l'onde en arrière, et relèvera le rayon. Mais, à partir de quelques kilomètres de hauteur, sa vitesse se ralentira le plus souvent, puisque les perturbations les plus violentes de l'atmosphère ne dépassent pas la limite inférieure de la stratosphère. Alors l'effet inverse se produira et les rayons, relevés d'abord, seront ensuite rabattus. A fortiori en sera-t-il ainsi, si le vent inférieur est surmonté d'un courant entraîné dans le sens opposé.

Que des conditions pareilles à celles que nous venons de décrire existent réellement assez souvent dans l'atmosphère, cela n'est pas douteux, d'après les observations. Nous en donnerons des exemples. Il est non moins certain que leur ordre de grandeur est suffisant pour produire les effets attendus. Il n'est pas sans importance de le montrer, au moins approximativement, par un calcul élémentaire. La nature des trajectoires réelles des rayons sonores dépend évidemment de la loi de variation admise pour la vitesse. Ainsi, Rayleigh trouvait une chaînette, Jäger et Mohn un cercle, Matthiesen une parabole, V. Kommerell une cycloïde. Comme il s'agit, en tout cas, de courbes extrêmement surbaissées, elles diffèrent très peu d'un arc de cercle, et nous nous contenterons de cette première approximation.

Désignons par r le rayon de l'arc décrit par une trajectoire sonore qui part horizontalement du sol, par

h la hauteur à laquelle cette trajectoire aura été relevée après le parcours dont la projection horizontale est d. Nous aurons, d'après une propriété élémentaire bien connue : $d = \sqrt{h(2r - h)}$, et puisque les arcs parcourus sont proportionnels aux vitesses, les rayons r et $r - h$ des arcs commençant au sol et à la hauteur h le seront aussi.

Soient alors les conditions atmosphériques suivantes : température 10° au sol, 0° à 3 km., vent nul. La seconde relation nous donnera tout d'abord $r = 168$ km. En l'introduisant dans la première, nous trouvons $d = 31{,}6$ km. Ce qui signifie qu'un rayon sonore partant horizontalement de la source sera parvenu à 3 km. de hauteur à la distance 31,6 km. de l'origine. Supposons maintenant sur les 3 km. suivants une inversion qui ramène la température à 10° : le rayon recevra une courbure inverse qui le rendra de nouveau horizontal à 6 km. de hauteur, après un second parcours de 31,6 km. En vertu de la symétrie, dans le cas idéal choisi, il reviendra finalement au sol en décrivant des courbes inverses des précédentes, après un parcours total en projection horizontale de 126,4 km. Avec des différences de températures plus fortes que l'exemple extrêmement modéré choisi, nous obtiendrions aisément des portées deux ou trois fois plus considérables.

Par un calcul également facile, dont nous laissons le soin au lecteur demeuré encore sceptique, on se convaincra semblablement que les vitesses des vents observées en fait suffisent, et au delà, pour produire les effets demandés par la théorie. Rien n'empêche d'ailleurs d'admettre plusieurs ondulations successives des rayons sonores entre le sol et le niveau de retour, comme le suggérait déjà M. van Everdingen à propos du bombardement d'Anvers. On aurait donc plusieurs zones de silence successives, mais de peu d'étendue, qui ne pourraient évidemment être distinguées que

dans des expériences instituées *ad hoc* et soigneusement préparées.

Un des avantages de cette théorie, c'est qu'en s'abstenant de faire sortir la trajectoire du son de la troposphère, elle évite, non seulement la perte d'énergie dans le vide avancé de la stratosphère, mais aussi, jusqu'à un certain point, l'affaiblissement géométrique proportionnel au carré de la distance à l'origine. En effet, tous les rayons restent alors compris dans une nappe de petite épaisseur par rapport à la distance, dans laquelle l'expansion latérale est seule possible en principe. L'intensité, après un premier parcours de quelques kilomètres, deviendrait donc inversement proportionnelle à la simple distance.

Bien des phénomènes d'observation quotidienne s'expliquent d'après ces principes. Aux petites distances (dans la zone d'audibilité normale) on entend mieux et plus loin sous le vent qu'à contre-vent. Dans le premier cas, les rayons sonores voisins de l'horizon sont ramenés vers le sol; dans le second, ils sont relevés et les rayons horizontaux, eux-mêmes, passent bientôt au-dessus des têtes. On entend mieux aussi, et pour la même raison, par temps froid et brumeux que par temps chaud, mieux la nuit que le jour, le gradient de température étant faible et souvent négatif (températures croissantes) dans la première alternative, positif dans la seconde. On entend mieux d'une position élevée et on s'y fait mieux entendre, parce que les rayons à concavité tournée vers le ciel qui y passent, ont leur point de tangence plus loin sur le sol. Enfin, il est plus facile de se faire entendre dans une salle fermée qu'en plein air, parce que l'air chaud, qui s'accumule au plafond, y réalise presque toujours l'inversion de température.

On rattachera sans peine au même point de vue l'explication de certains grondements mystérieux,

qu'on perçoit quelquefois au bord de la mer par temps chaud et calme. Les marins belges les appellent *Mistpoeffers*. Ailleurs on les connaît sous les noms divers de Bramidos, Brontidi, Marina, Barisal-guns, Seeschiessen, etc.

Il y a une vingtaine d'années on s'en est occupé beaucoup, sans aboutir à des conclusions fermes, parce qu'on ne croyait pas pouvoir les rapporter sûrement à des exercices de tir (éventuellement des orages ou des fractures de roches), étant donné qu'il n'y en avait pas eu, informations prises, dans le voisinage. Ce que nous avons appris pendant la guerre sur la portée du son du canon rend très probable qu'il ne s'agissait pas d'autre chose, mais que la source était seulement à chercher beaucoup plus loin qu'on ne croyait. Ainsi, sur la côte belge, on les entend le plus souvent par vent d'Est et en été ; jamais, semble-t-il, la nuit. Ce sont justement les conditions qui doivent permettre d'entendre les tirs d'artillerie effectués, soit dans l'estuaire de la Tamise, soit au loin dans la Manche.

Nous remarquerons encore que l'intervention du vent doit être plus fréquente ou plus effective que celle de la température. Ce qui le montre, c'est la dissymétrie habituellement constatée dans les observations, notamment quand il s'agit d'éruptions ou d'explosions. On pourrait répéter ici, mais avec quelque atténuation, ce qui a été dit de la théorie physique : les niveaux thermiques sont généralement horizontaux sur de grandes étendues, et par suite, les déviations du son dues à la température devraient être ordinairement symétriques dans toutes les directions, car ce n'est qu'exceptionnellement que la source sonore se trouvera près de la lisière des strates agissantes. Le vent seul est toujours dissymétrique. C'est donc lui qui doit être, vraisemblablement, le facteur dominant.

(A suivre) V. Schaffers, S. J.

L'Évolution des Reptiles
et
l'Origine des Mammifères

Parmi les problèmes qu'étudie la Paléontologie, un des plus captivants est, sans contredit, celui des modifications profondes qu'ont subies les faunes et les flores au cours de la longue série des âges disparus.

Vers le milieu du siècle dernier, un paléontologiste français, de grand renom d'ailleurs, Alcide d'Orbigny, donnait à ce problème la solution suivante (1) :

« Une première création s'est montrée avec l'étage Silurien. Après l'anéantissement de celle-ci par une cause géologique quelconque, après un laps de temps considérable, une seconde création a eu lieu dans l'étage Dévonien ; et successivement, vingt-sept fois, des créations distinctes sont venues repeupler toute la terre de ses plantes et de ses animaux, à la suite de chaque perturbation géologique qui avait tout détruit dans la nature vivante. Tel est le fait, le fait certain, mais incompréhensible, que nous nous bornons à constater sans chercher à percer le mystère surhumain qui l'environne. »

(1) *Cours élémentaire de Paléontologie stratigraphique*, II, 1849, p. 251.

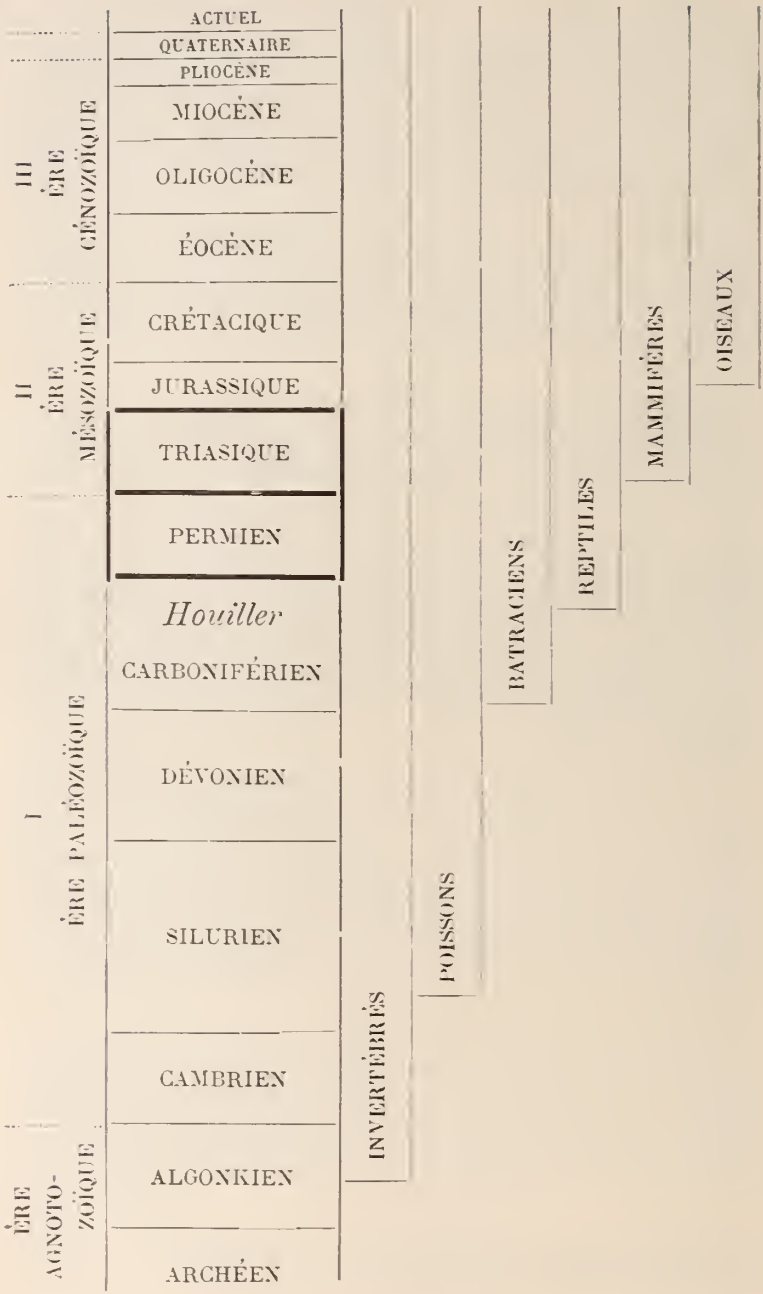
Cette solution *catastrophique* du problème de la succession des êtres, si elle fut très généralement admise dans la première moitié du XIXe siècle, ne l'est plus du tout aujourd'hui. Les géologues ont montré qu'après les spasmes primitifs, la terre a passé par une série de cycles pacifiques qui se répètent, dont le cycle actuellement en cours peut donner la norme et qui ne suggèrent l'idée de cataclysmes généraux qu'à celui qui veut ramasser dans une courte période la lente et longue succession des phénomènes.

D'autre part, l'apparition *soudaine* d'une faune nouvelle, *dans une région donnée,* s'explique naturellement par des *migrations,* vers cette région, de types d'une autre zone : migrations d'animaux terrestres, lorsque de nouvelles voies géographiques s'établissent entre deux continents ou parties de continents jusqu'alors séparés ; migrations d'animaux marins, lorsque changent soit les conditions bathymétriques, soit les relations mutuelles des océans, ou que la mer envahit une aire continentale (1).

Quant aux changements *successifs* que l'on constate dans les types fauniques d'une région déterminée, on les fait dépendre aujourd'hui de l'*évolution* que subissent ces organismes, évolution par voie d'*adaptation,* conditionnée par la plasticité plus ou moins grande des organismes en cause et par la variation du milieu.

Cet article traite un cas particulier de cette évolution : l'*Origine des Mammifères,* en la considérant simplement du point de vue *paléontologique.* Je voudrais rechercher la solution du problème suivant : peut-on trouver entre les Mammifères et les Reptiles fossiles

(1) Cf. Ch. Depéret, *Les Transformations du Monde animal.* Paris, E. Flammarion. Chap. XXVI et XXVII.


III ÈRE CÉNOZOÏQUE
II ÈRE MÉSOZOÏQUE
I ÈRE PALÉOZOÏQUE
ÈRE AGNOTO-ZOÏQUE
ACTUEL
QUATERNAIRE
PLIOCÈNE
MIOCÈNE
OLIGOCÈNE
ÉOCÈNE
CRÉTACIQUE
JURASSIQUE
TRIASIQUE
PERMIEN
Houiller
CARBONIFÉRIEN
DÉVONIEN
SILURIEN
CAMBRIEN
ALGONKIEN
ARCHÉEN
INVERTÉBRÉS
POISSONS
BATRACIENS
REPTILES
MAMMIFÈRES
OISEAUX

un certain nombre d'intermédiaires qui forment une série à la fois chronologique et morphologique ?

Cette étude doit s'ouvrir par quelques notions préalables sur les Reptiles en général.

Puisque nous aurons à parler de séries chronologiques, un mot d'abord de notre « chronomètre ».

Nous nous servons, pour estimer l'*âge relatif* des fossiles, de l'échelle stratigraphique des terrains ou dépôts géologiques qui, lors de leur formation, ont englobé les animaux et les plantes de cette époque.

Ci-contre j'ai représenté les grandes divisions de cette échelle stratigraphique fournie par la Géologie, en donnant, autant que possible, aux divers termes, leur importance relative au point de vue de l'épaisseur des formations.

On y distingue, en allant des temps les plus proches de l'époque actuelle vers les périodes de plus en plus anciennes :

L'ère *Cénozoïque* (1), couramment appelée Tertiaire;

L'ère *Mésozoïque,* ou Secondaire ;

L'ère *Paléozoïque,* ou Primaire. On a cru longtemps que cette ère était contemporaine de l'apparition de la vie sur la terre. Aussi la période qui la précède avait-elle été appelée l'ère *azoïque*. Mais plus récemment on a découvert dans cet « azoïque » des traces d'organismes. Il convient donc de substituer au terme azoïque celui de *Agnotozoïque*. Les plus anciens organismes connus se rencontrent dans l'Algonkien et appartiennent aux Invertébrés. Ici nous n'avons à nous occuper que des Vertébrés.

Les premiers dont nous connaissions les restes sont

(1) *Cénozoïque,* de καινός, nouveau et ζῶον, animal ; *mésozoïque,* de μέσος, moyen ; *paléozoïque,* de παλαιός, ancien ; *azoïque,* de 'α, privatif et ζῶον, ère dépourvue de vie ; *agnotozoïque,* de ἄγνωτος, inconnu.

les *Poissons* : on les trouve déjà dans le Silurien. La classe des *Batraciens* est connue avec certitude dès le Carboniférien : la classe des *Reptiles*, depuis le Carboniférien tout à fait supérieur ; celle des *Mammifères*, depuis le Trias : enfin les *Oiseaux* nous sont connus depuis le Jurassique supérieur.

Que représente, en nombre d'années, cette série stratigraphique ?

Ce problème a été étudié par de nombreux géologues et de nombreux physiciens, et par les méthodes les plus diverses. Une des plus récentes est basée sur la quantité d'hélium accumulée en un an dans une roche radioactive (1). Le temps qui s'est écoulé depuis le début de l'Algonkien, où se rencontrent les premiers fossiles, a été ainsi estimé à au moins deux cents millions d'années.

Ce chiffre énorme mesure une durée que notre imagination s'évertue en vain à intuitionner. Il est bien de nature à mettre à l'aise les partisans d'une évolution lente, et à rendre circonspects les partisans des apparitions soudaines de nouvelles espèces ou de nouveaux genres.

DIFFÉRENCE ENTRE LE TYPE REPTILIEN ET LE TYPE MAMMIFÉRIEN

Fixons d'abord quelques traits essentiels qui distinguent le type reptilien du type mammalien. Nous aurons ainsi marqué plus nettement l'hiatus morphologique qui les sépare, avant de le voir se combler par la série des espèces de transition.

L'idée que l'on se fait communément d'un Reptile

(1) Pierre Termier, *Les grandes énigmes de la géologie*. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, t. 27, janvier 1920, p. 80.

est celle d'un animal s'avançant par reptation, d'un type rampant, qu'il soit privé de membres comme les Serpents, ou que ses membres élèvent peu le tronc au-dessus du sol comme chez les Crocodiles.

Il s'en faut cependant de beaucoup que tous les Reptiles répondent à cette idée. Nous avons, en effet, des types très hauts sur pattes (exemple : *Stegosaurus,* fig. 5), des types à marche bipède (exemples : *Iguanodon,* fig. 4 et *Compsognathus,* fig. 7), et même des types volants, non seulement parmi les fossiles (exemple : *Pteranodon,* fig. 8), mais aussi parmi les animaux actuels.

D'une façon plus scientifique, on peut définir les Reptiles : des *Vertébrés, respirant par des poumons dès leur naissance et à sang froid,* c'est-à-dire à température variable, la température du sang se maintenant toujours, dans les circonstances normales, en équilibre avec celle du milieu ambiant.

Les Mammifères sont des *Vertébrés, respirant par des poumons et à sang chaud.*

Mais ces caractères distinguant les Reptiles des Mammifères, ainsi qu'un bon nombre d'autres traits différentiels que l'on pourrait signaler, ne peuvent être utilisés par le paléontologiste, qui — la plupart du temps — n'a à sa disposition que le système squelettique conservé à l'état fossile. C'est pourquoi nous allons choisir, *dans le squelette même,* quelques caractères saillants et faciles à interpréter, qui nous serviront de points de comparaison.

Face supérieure du crâne. (Comparer les fig. 12 et 18.)

1°) La boîte crânienne des Mammifères est formée d'un petit nombre d'os ; notamment l'orbite est constituée en grande partie par l'os du front, le *frontal.*

Chez les Reptiles, le nombre des os de la tête est plus considérable : un os *préfrontal*, un os *postorbitaire* et même un *postfrontal* entrent en jeu pour encadrer l'orbite.

2°) Les Reptiles possèdent, au milieu du crâne, un orifice, un foramen pour loger l'œil pinéal. — Ce foramen manque aux Mammifères.

Face latérale du crâne. (Comparer les fig. 19 et 24).

3°) Chez les Mammifères, la mâchoire inférieure ou mandibule s'articule directement avec le crâne.

Chez les Reptiles, il existe un os intermédiaire d'articulation : le *carré*.

4°) Chez les Mammifères, la mandibule est constituée par un seul os, le *dentaire*.

Chez les Reptiles, outre le *dentaire*, la mandibule a plusieurs os : l'*angulaire*, le *sus-angulaire*, l'*articulaire*.

Face inférieure du crâne. (Comparer les fig. 25 et 28.)

5°) Tous les Mammifères ont un *palais secondaire*, c'est-à-dire que les canaux du nez, au lieu de déboucher directement dans la bouche, en sont séparés par une voûte osseuse, qui reporte vers l'arrière l'orifice interne des conduits nasaux.

En général, les Reptiles ne possèdent pas ce palais secondaire. Nous verrons plus loin que les Crocodiles font exception à cette règle.

6°) Les dents, quand elles existent, chez les Mammifères, sont limitées aux os qui forment le contour de la mâchoire (*maxillaire* et *prémaxillaire*).

Chez les Reptiles, les dents peuvent envahir tout

le plafond de la cavité buccale jusque très loin en arrière.

7°) Les dents des Mammifères sont typiquement *différenciées* en incisives, canines, prémolaires et molaires.

Le type de denture reptilien est uniforme.

Face postérieure du crâne. (Comparer les figures 29 et 32.)

8°) L'articulation de la tête, de l'occiput avec la colonne vertébrale est réalisée, chez les Mammifères, par deux protubérances arrondies, les *deux condyles occipitaux*.

Les Reptiles ne possèdent qu'*un seul condyle occipital*.

Épaule. (Comparer les fig. 33 et 37.)

9°) Le bras des Mammifères est articulé avec l'omoplate, large plaque osseuse, portant une crête qui se termine par un appendice saillant, appelé l'*acromion*. Cet *acromion* est un trait bien marquant des Mammifères ; il fait défaut chez les Reptiles.

Bassin. (Comparer les fig. 38 et 40.)

10°) Le bassin est formé de trois os de chaque côté, et, chez tous les Mammifères, l'os supérieur, *ilion*, se prolonge fortement en avant; un foramen (obturateur) existe entre les deux os inférieurs, *pubis* et *ischion*.

Dans le type reptilien, ce foramen n'existe pas, ni la projection de l'ilion vers l'avant.

Par ces caractères multiples, communs à tous les

Mammifères, on voit que le squelette, chez eux, est nettement différent du squelette des Reptiles.

ANCIENNETÉ DES MAMMIFÈRES

Il y a lieu de distinguer différents types de Mammifères.

La généralité des Mammifères actuels mettent au monde leurs petits bien constitués : ce sont les Mammifères dits *Placentaires*.

Mais il existe deux groupes moins élevés, dont les représentants actuels sont peu nombreux et limités dans leur distribution géographique.

Ce sont :

a) Les *Marsupiaux*, dont les petits naissent à l'état imparfait et achèvent en général leur développement dans une poche ventrale. Ils sont limités aujourd'hui à l'Australie et à l'Amérique du Sud.

b) Les *Monotrèmes*, qui pondent des œufs, dont la maturation a lieu dans une bourse extérieure: ils sont, de nos jours, cantonnés en Australie.

Les Mammifères dits « Placentaires », nous sont connus avec certitude dès le début de l'ère Cénozoïque ou Tertiaire. Ce sont eux qui deviennent bientôt les quadrupèdes dominants : ils prennent à cette époque un développement prodigieux, multipliant et diversifiant graduellement les formes de façon exubérante : le Cénozoïque ou Tertiaire est l'âge ou l'ère des Mammifères, l'ère de la splendeur de ce groupe, qui est parvenu jusqu'à nos jours, mais que nous trouvons, hélas! dans la faune actuelle, bien appauvri.

Ce serait cependant une grave erreur de croire que l'apparition du type Mammifère ne date que du début du Tertiaire. En effet, *dès la base du Triasique* (voir l'échelle, p. 124), les couches Mésozoïques ou Secondaires ont fourni des restes de Mammifères. Sans doute ces fossiles sont fragmentaires ; ce sont surtout des dents et des morceaux de mâchoires ; mais tels qu'ils se présentent, ils témoignent de l'existence, dans le Triasique, le Jurassique et le Crétacique, de genres nombreux, représentant plusieurs familles. Ils y avaient même une large distribution géographique, puisque les couches d'Europe, comme celles de l'Amérique septentrionale et de l'Afrique du Sud, nous ont livré leurs restes.

Les mieux connus, parmi eux, sont rapportés aux Marsupiaux.

Puisque *dès le Triasique* existaient des Mammifères, ce sont les Reptiles d'âge plus ancien, c'est-à-dire ceux de l'époque permienne, qu'il nous faudra examiner pour découvrir les types qui vont donner naissance aux intermédiaires cherchés.

TYPES FONDAMENTAUX DE REPTILES PERMIENS

Les plus anciens Reptiles que l'on ait découverts sont quelques rares spécimens du Carboniférien supérieur (*Sauravus* du Houiller supérieur de France). Mais dans le Permien, les trouvailles ont été suffisamment nombreuses pour que nous puissions nous faire une idée d'ensemble de la faune reptilienne à cette époque.

TYPES DE REPTILES PERMIENS

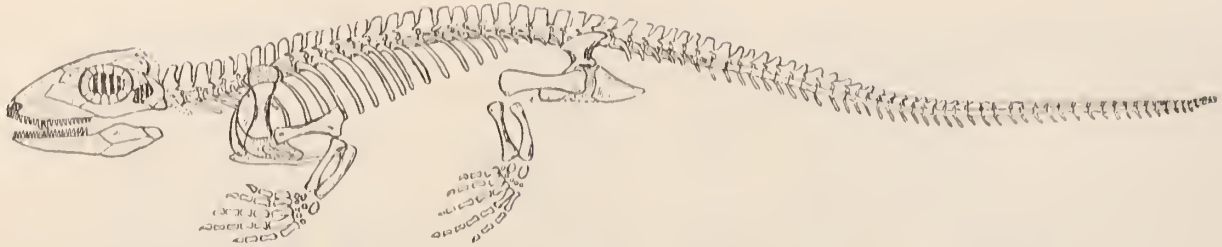


Fig. 1. — **Typ protorosaurien.** *Palaeohatteria longicaudata* Credner. × 1/3, d'après Mc Gregor. Permien moyen de Saxe.

Fig. 2. — **Type pélycosaurien.** *Theropleura retroversa* Cope. × 1/16, d'après E. C. Case. Permien du Texas.

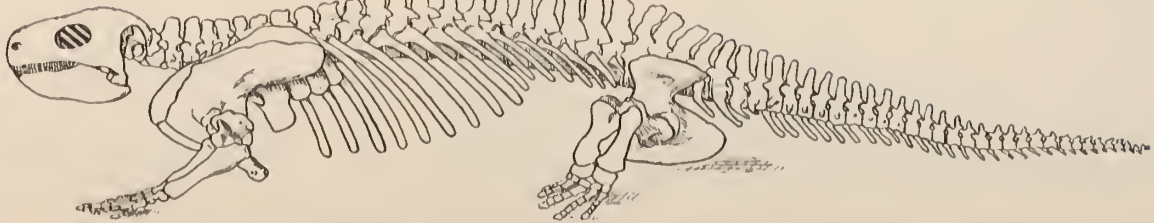


Fig. 3. — **Typo cotylosaurien.** *Diadectes phaseolinus* Cope. × 1/12, d'après E. C. Case. Permien de l'Amérique du Nord.

On constate que déjà dans le Permien inférieur, cette faune est *variée*. On peut y distinguer trois types fondamentaux :

I. Les PROTOROSAURIENS (exemple : *Palaeohatteria*, fig. 1).
II. Les PÉLYCOSAURIENS (exemple : *Theropleura*, fig. 2).
III. Les COTYLOSAURIENS (exemple : *Diadectes*, fig. 3).

Le type Protorosaurien est caractérisé notamment par la présence d'une large fosse temporale.

Le type Pélycosaurien a la région temporale percée de deux fenêtres.

Le type Cotylosaurien se distingue par la région temporale complète, sans ouverture : il y a là une voûte continue.

DESCENDANCE DU TYPE PROTOROSAURIEN

C'est au type Protorosaurien, à régime carnivore, que se relient, par des séries chronologiques et morphologiques, la grande majorité des Reptiles, aussi bien les formes aquatiques que les formes terrestres, ou bien encore celles adaptées au vol. J'en donnerai quelques exemples.

Adaptation à la vie terrestre. — Parmi les formes adaptées à la vie terrestre, citons en premier lieu notre « gloire nationale », l'*Iguanodon* (fig. 4). Le Musée royal d'Histoire naturelle de Bruxelles en héberge un petit escadron, dont les sujets ont une dizaine de mètres de long. C'est le seul Musée qui possède des exemplaires complets : ils proviennent du Crétacé le plus inférieur de Bernissart. Ce gisement merveilleux, non encore épuisé, fut convoité pendant l'occupation de notre pays par l'envahisseur allemand ; et le zèle patriotique de notre distingué collègue

M. G. Gilson, directeur du Musée royal, dut déployer toute son habileté pour empêcher que la Belgique ne fût une fois de plus spoliée.

Ces *Iguanodons*, amphibies, sont des reptiles adaptés au régime herbivore et à la marche bipède, adaptation dont on peut suivre le cours pendant le Triasique et le Jurassique.

Une réadaptation ultérieure à la marche quadrupède a donné les *Stegosaurus* (fig. 5) du Crétacique ; mais les fortes ossifications qui surmontent leurs arcs vertébraux dénotent une spécialisation très grande, et les énormes cornes et protubérances du crâne des *Cératopsidés* (fig. 6) du Crétacé supérieur font présager l'extinction du groupe. Car, d'après un principe général en Paléontologie, les formes très ornées annoncent la fin d'une lignée : et de fait, tout au début du Cénozoïque ou Tertiaire, nous constatons la disparition des Stégosauriens et des Cératopsidés.

Un mode différent d'adaptation à la vie bipède a donné un type de petite taille, très aviforme : les *Compsognathides* (fig. 7), dans le Jurassique.

Une autre branche encore conduit à *Diplodocus*, énorme reptile herbivore, quadrupède à tête extraordinairement réduite, portée par un corps de 25 mètres de long qui décrit une arche de 5 mètres de haut. Ce type du Crétacé inférieur de l'Amérique du Nord est bien dans la note de ce pays, amateur de gigantesque... Mais les Allemands ont trouvé quelque chose de plus « colossal » : en Afrique orientale, jadis allemande, une expédition du Musée de Berlin a découvert, peu avant la guerre, des types de 60 m. de long. Ces formes géantes se rencontrent généralement à la fin des rameaux : peu après le Crétacique, nous ne rencontrons plus de ces *Dinosauriens*.

Adaptation à la vie aérienne. — On a voulu voir dans les *Reptiles volants* connus depuis le Triasique

Descendance protorosaurienne

Adaptation à la vie terrestre bipède

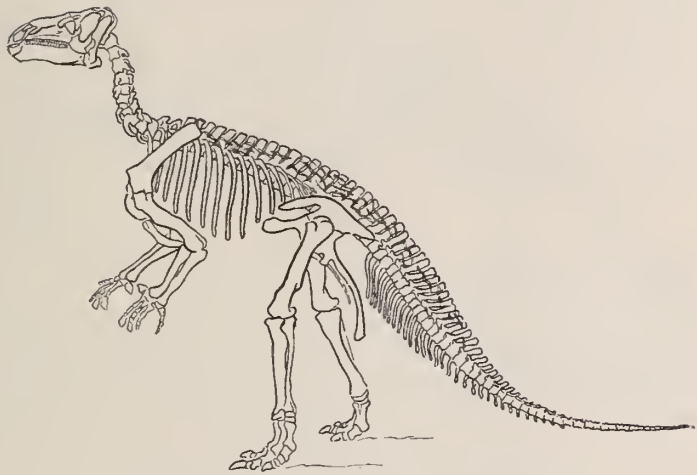


FIG. 4. — *Iguanodon Bernissartensis* Boulenger.
Crétacé inférieur de Belgique. × 1/80.

Adaptation à la vie quadrupède

FIG. 5. — *Stegosaurus ungulatus* Marsh.
Crétacé inférieur du Colorado. × 1/60, d'après Marsh.

supérieur (exemple : *Pteranodon*, fig. 8), des intermédiaires entre les Reptiles terrestres et les *Oiseaux*, qui apparaissent dans le Jurassique supérieur. Mais les Reptiles volants et les Oiseaux sont le résultat de deux adaptations *indépendantes* à la même fonction par un phénomène de *convergence :* les deux groupes se rattachent à notre type Protorosaurien. Le fait d'avoir l'un et l'autre des membres adaptés au vol n'est pas un critérium infaillible de parenté : témoin les chauves-souris, qui sont des mammifères.

Adaptation à la vie aquatique. — Aussi bien parmi les Reptiles que parmi les Mammifères, toutes les séries observées vont toujours d'un type terrestre vers un type aquatique, et jamais en sens inverse. Notre type Protorosaurien terrestre a donné, par adaptation à la vie aquatique, notamment les *Crocodiliens*, dans le Jurassique, et les *Ichthyosauriens*, connus depuis le Triasique jusqu'à la fin du Mésozoïque ou Secondaire (fig. 9).

Toute cette magnifique descendance du type Protorosaurien qui s'est épanouie pendant toute l'ère Mésozoïque, l'*ère des Reptiles*, n'a guère survécu dans le Tertiaire, et, à l'heure actuelle, nous n'avons plus que quelques crocodiles, des serpents, des lacertiliens, des tortues et un type très primitif, *Sphenodon*, limité à la Nouvelle-Zélande, qui a conservé encore les caractères du type permien, et dont la disparition totale est prochaine par suite de la chasse que lui font les porcs et les chats.

Ce n'est donc pas le type Protorosaurien qui nous fournira les formes de transition entre les Reptiles et les Mammifères.

Ce ne sera pas davantage le type Pélycosaurien, dont nous ne dirons qu'un mot.

Descendance protorosaurienne

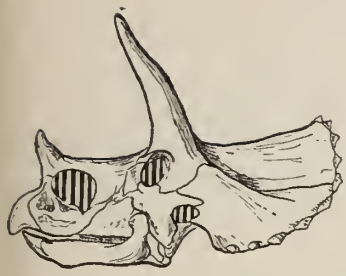


Fig. 6. — *Triceratops flabellatus* Marsh
Crétacé supérieur du Montana. × 1/40

Fig. 7. — *Compsognathus longipes* Wagner.
Jurassique de Bavière. × 1/8.

Adaptation à la vie aérienne

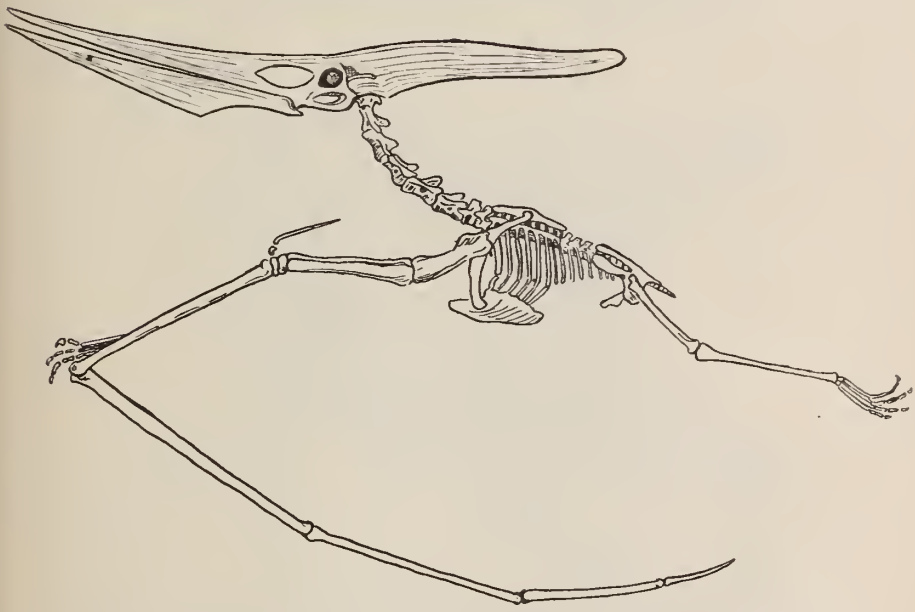


Fig 8. — *Pteranodon* Marsh. Crétacé supérieur du Kansas. × 1/25, d'après Eaton.
Le doigt porteur de l'aile a été replié.

Descendance protorosaurienne

Adaptation à la vie aquatique

Fig. 9. — *Ichthyosaurus quadriscissus* Fraas. Jurassique inférieur du Wurtemberg. × 1/80 d'après un individu de très petite taille, mais avec la peau conservée, de l'Institut géologique de Louvain

Descendance pélycosaurienne hyperspécialisée

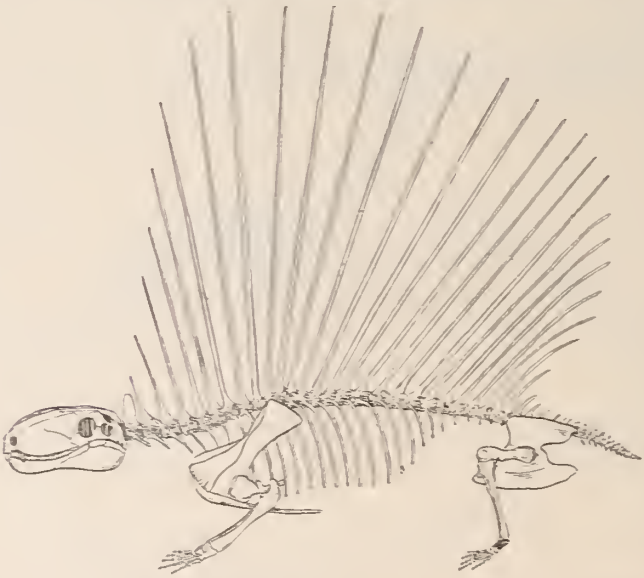


Fig. 10. — *Dimetrodon incisivus* Cope. Permien du Texas. × 1/18.

DESCENDANCE DU TYPE PÉLYCOSAURIEN

Le second type du Permien inférieur est déjà trop évolué, dès l'époque permienne, pour avoir une longue descendance : l'épanouissement des formes à longues apophyses épineuses dans le Permien supérieur d'Amérique annonce la fin prochaine du groupe, aussi bien pour les genres adaptés à un régime carnivore (*Dimetrodon*, fig. 10) que pour les genres insectivores (*Edaphosaurus*).

DESCENDANCE DU TYPE COTYLOSAURIEN

Des trois types fondamentaux, il ne nous en reste donc plus qu'un dont puissent dériver les intermédiaires que nous cherchons entre les Reptiles et les Mammifères : c'est le type *Cotylosaurien*.

Fig. 11. — *Pareiasaurus (Bradysaurus) Baini* Seeley.
Permien supérieur du Cap. × 1/30
d'après un exemplaire du Musée d'Histoire naturelle de Londres.

Lorsque, au Musée d'Histoire naturelle de Londres, on pénètre dans la galerie des Reptiles fossiles, l'attention est de suite attirée par un animal massif, trapu, à membres robustes (fig. 11), qui semble là comme égaré : on dirait que la galerie des Mammifères a débordé jusqu'ici. Et pourtant il s'agit bien d'un Reptile (*Pa-*

reiasaurus) et même d'un Reptile très ancien : il provient du Permien supérieur de l'Afrique du Sud. Le même genre a été retrouvé dans les couches de même âge de la Russie septentrionale.

Malgré les caractères qui le rapprochent incontestablement des Mammifères (notamment la présence de l'*acromion)*, cet animal est déjà trop spécialisé pour qu'on puisse le placer sur la ligne directe qui conduirait aux Mammifères : il ne peut être que sur une voie latérale d'évolution.

Mais l'Afrique du Sud, dans ses couches permiennes et triasiques, renferme en outre les représentants d'une faune très spéciale qui, jusqu'à présent, n'a été signalée que dans cette région et peut-être aussi dans la Russie septentrionale. Chaque année, de nouvelles découvertes dans les dépôts sud-africains viennent compléter notre connaissance de ces reptiles carnassiers.

Je ne parlerai ici que des *Thérocéphaliens* dans le Permien et des *Cynodontes* dans le Trias.

Comparons quelques-unes de ces formes avec les deux types qui nous ont servi, au début, à différencier les Mammifères des Reptiles, c'est-à-dire, d'une part, avec le Cotylosaurien Permien *Captorhinus* et d'autre part avec le sujet que nous avons choisi comme type de Mammifère, le Marsupial *Dasyurus*, en ayant soin de disposer ces formes d'après leur âge géologique, de manière à constituer une série chronologique.

Face supérieure du crâne.

1°) Orbite. Le Cotylosaurien *Captorhinus* (fig. 12) et le Thérocéphalien *Scylacosaurus* (fig. 13), du Permien, ont l'orbite formée par un os *préfrontal (pf)*, un *frontal (f)*, un *postfrontal (ptf)* et un *postorbitaire (po)*.

Les Cynodontes du Trias n'ont plus de *postfrontal*. Chez *Cynognathus* (fig. 14) et *Gomphognathus* (fig. 15), *préfrontal* et *postorbitaire* se rencontrent de manière

à exclure le *frontal* de l'orbite ; tandis que chez *Sesamodon* (fig. 16) et *Bauria* (fig. 17), le *frontal* prend largement part à l'orbite et les deux autres os se réduisent. Chez les Mammifères (fig. 18), il n'y a plus ni *préfrontal*, ni *postorbitaire*.

2°) Le foramen pariétal, énorme chez *Captorhinus* (fig. 12), est moindre chez *Scylacosaurus* (fig. 13), et se réduit encore chez *Cynognathus* (fig. 14) et *Gomphognathus* (fig. 15) ; il n'existe déjà plus chez *Sesamodon* (fig. 16) et *Bauria* (fig. 17). Les Mammifères n'ont pas ce foramen (fig. 18).

Face latérale du crâne.

3°) Un large *carré* (C) pour l'articulation de la mandibule avec le crâne existe chez *Captorhinus* (fig. 19) ; encore assez considérable chez *Scylacosaurus* (fig. 20), il se réduit chez les Cynodontes (fig. 21-23) et devient rudimentaire.

Chez les Mammifères, l'articulation ne se fait pas par l'intermédiaire d'un *carré* (fig. 24).

4°) La mandibule de *Captorhinus* (fig. 19) est composée de plusieurs os, chacun de grande taille. Chez *Scylacosaurus* (fig. 20), le *dentaire* se rapproche plus de l'articulation. Les Cynodontes subissent une réduction de l'*articulaire*, de l'*angulaire* et du *sus-angulaire*, de sorte que le *dentaire* est près de l'articulation (fig. 21 et 22).

Le *dentaire* seul constitue la mandibule des Mammifères (fig. 24).

Dans le squelette mammalien, le *carré* et l'*articulaire* ont été transformés en deux osselets de l'oreille : l'*enclume* et le *marteau*, renfermés dans l'oreille de l'adulte, mais extérieurs chez l'embryon.

La discontinuité de l'arcade que présente *Bauria* (fig. 23) rapproche encore davantage cette forme des Mammifères à ce point de vue.

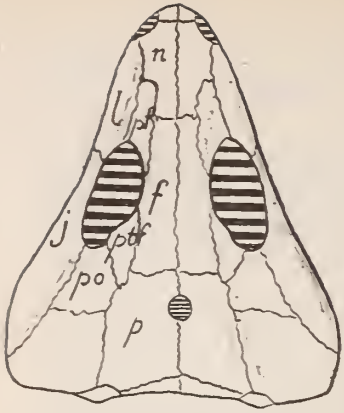


FIG. 12 — *Capthorinus angusticeps* Cope Permien de l'Amérique du Nord. × 5/8.

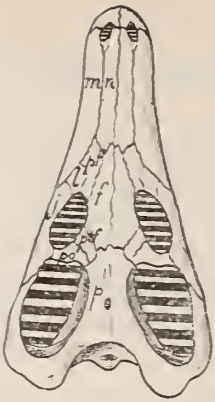


FIG. 13. — *Scylacosaurus Sclateri* Broom. Permien de l'Afrique du Sud. × 1/3.

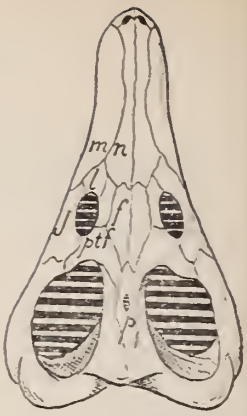


FIG. 14. — *Cynognathus platyceps* Seeley. Triasique de l'Afrique du Sud. × 1/4.

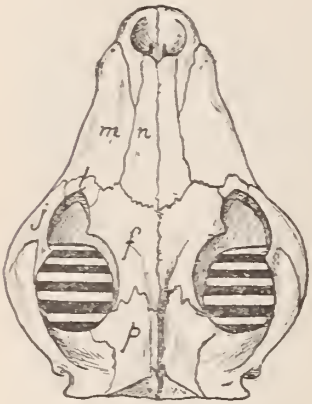


FIG. 18. — *Dasyurus ursinus* Geoffroy. Mammifère actuel d'Australie. × 1/3.

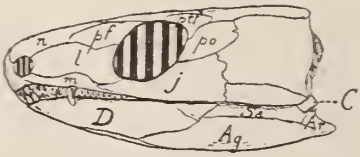


FIG. 19. — *Capthorinus angusticeps* Cope. Permien de l'Amérique du Nord. × 5/8.

FIG. 24. — *Dasyurus ursinus* Geoffroy. Mammifère actuel d'Australie. × 1/3.

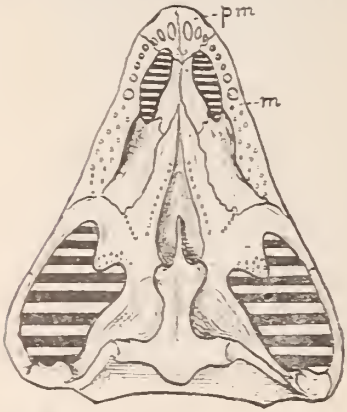
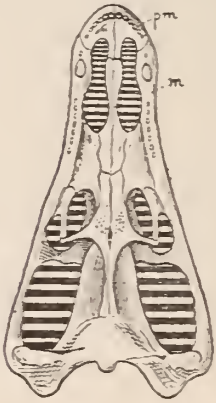
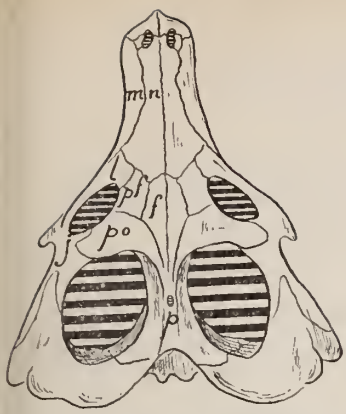


FIG. 25. — *Capthorhinus angusticeps* Cope. Permien de l'Amérique du Nord. × 5/8.



Ag = angulaire
Ar = articulaire
C = carré
D = dentaire
f = frontal
j = jugal
l = lacrymal
m = maxillaire

FIG. 26. — *Scylacosaurus Sclateri* Broom. Permien de l'Afrique du Sud. × 1/3.



G.15.— *Gomphognathus minor* Seeley. Triasique de l'Afrique du Sud. × 1/3.

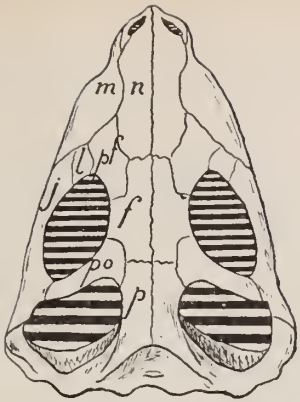


Fig.16.— *Sesamodon Browni* Broom. Triasique de l'Afrique du Sud. × 2/3.

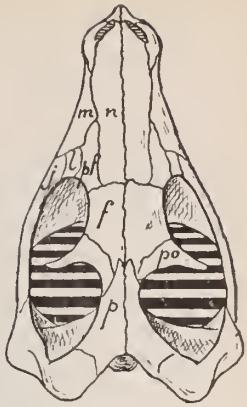


Fig.17.— *Bauria cynops* Broom. Triasique de l'Afrique du Sud. × 2/3.

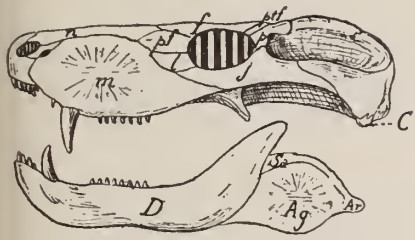


Fig. 20. — *Scylacosaurus Sclateri* Broom. Permien de l'Afrique du Sud. × 1/3.

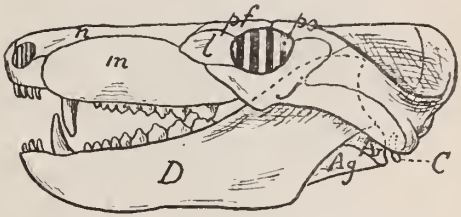


Fig. 21. — *Cynognathus platyceps* Seeley. Triasique de l'Afrique du Sud. × 1/4.

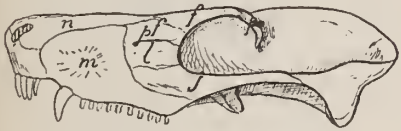


Fig. 23. — *Bauria cynops* Broom. Triasique de l'Afrique du Sud. × 2/3.

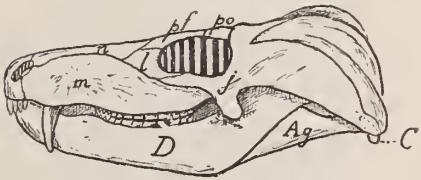


Fig. 22. — *Gomphognathus minor* Seeley. Triasique de l'Afrique du Sud. × 1/3

= nasal
= pariétal
f = préfrontal
m = prémaxillaire
o = postorbitaire
tf = postfrontal
a = sus-angulaire

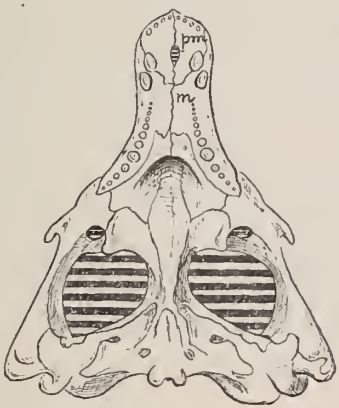


Fig. 27. — *Gomphognathus minor* Seeley. Triasique de l'Afrique du Sud. × 1/3.

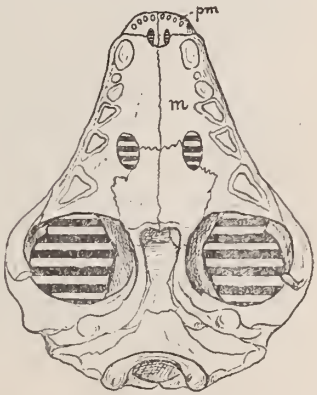


Fig. 28. — *Dasyurus ursinus* Geoffroy. Mammifère actuel d'Australie. × 1/3.

Face inférieure du crâne.

5°) *Captorhinus* (fig. 25) et *Scylacosaurus* (fig. 26) — du Permien — n'ont pas de palais secondaire.

Les Cynodontes — triasiques — ont un palais secondaire, mais peu développé en arrière (fig. 27).

Les Mammifères, enfin, possèdent un palais secondaire bien développé (fig. 28).

Ouvrons ici une parenthèse. Ce palais secondaire se rencontre encore, parmi les Reptiles, chez les Crocodiliens. D'abord imparfait chez les Crocodiliens jurassiques, il s'allonge graduellement dans les formes crétaciques et tertiaires. Comme l'a montré Dollo, on peut suivre le processus d'allongement, même chez les Crocodiliens habitant autrefois les fleuves quis illonnaient notre pays.

Ce palais secondaire, reportant l'orifice postérieur des narines vers l'arrière de la bouche, est une disposition qui contribue puissamment à assurer une meilleure respiration chez les Mammifères.

Peut-être, comme le suggérait mon vénéré maître, M. H. de Dorlodot, doit-on attribuer à cette circonstance avantageuse la rémanence dans la faune actuelle des Crocodiliens, qui, nous l'avons vu, constituent un des rares groupes ayant persisté depuis le Jurassique jusqu'à nos jours.

6°) Chez les Thérocéphaliens — permiens — (fig. 26), comme chez les Cotylosauriens (fig. 25), les *dents* garnissent encore le plafond de la cavité buccale.

Chez les Cynodontes — triasiques — (fig. 27), comme chez les Mammifères, les dents sont limitées aux *maxillaires* et aux *prémaxillaires*.

7°) La différenciation des dents commence déjà chez les Thérocéphaliens (fig. 20); mais leurs molaires sont simples, tandis que les molaires des Cynodontes sont déjà spécialisées (fig. 21), se rapprochant ainsi du type mammalien (fig. 24).

Face postérieure du crâne.

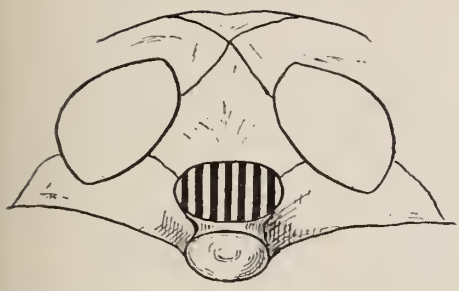


Fig. 29. — *Capthorinus angusticeps* Cope.
Permien de l'Amérique du Nord

Fig. 30. — *Dicynodon pardiceps* Owen.
Permien du Cap.

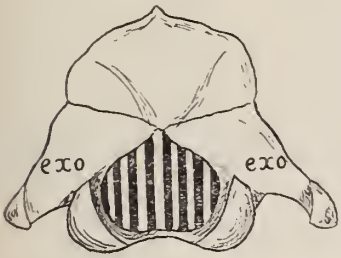


Fig. 32. — *Dasyurus ursinus* Geoffroy.
Mammifère actuel d'Australie.

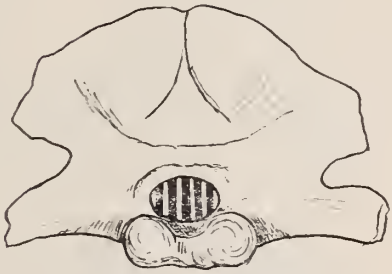


Fig. 31. —*Cynognathus platyceps* Seeley.
Triasique de l'Afrique du Sud.

8°) Le condyle *unique* des Cotylosauriens est formé par les deux os *exoccipitaux* et le *basioccipital* (fig. 29). La condition tripartite du condyle est bien marquée dans *Dicynodon* du Permien (fig. 30).

Chez les Cynodontes, le *basioccipital* intervient moins dans l'articulation, de sorte que le condyle a deux protubérances (fig. 31) : c'est déjà un double condyle.

Le *basioccipital* des Mammifères n'intervient plus dans l'articulation : les deux *exoccipitaux* forment les deux condyles caractéristiques.

Remarquons que les Mammifères Monotrèmes pré-

sentent encore aujourd'hui un pont cartilagineux qui relie les deux condyles.

Épaule.

9°) Le processus *acromion* n'existe pas chez les Cotylosauriens (fig. 33) et les Thérocéphaliens (fig. 34); mais on le rencontre chez les Cynodontes (fig. 35), comme chez les Mammifères (fig. 37).

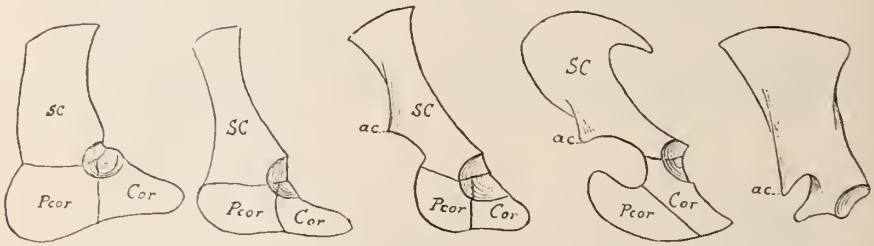


Fig. 33. Type cotylosaurien — Fig. 34. Type thérocéphale — Fig. 35. Type cynodonte — Fig. 36. Type mammifère monotrème — Fig. 37. Type mammifère « placentaire »

Cependant il semble qu'ici notre série morphologique soit en défaut : car, pour former la fossette articulaire, trois os interviennent : *scapula*, *coracoïde* et *procoracoïde*, tandis que chez les Mammifères n'existe qu'un seul os.

Cette difficulté n'est qu'apparente : en effet, les Mammifères Monotrèmes possèdent aussi trois os, dont un, déjà, ne prend plus part à l'articulation (fig. 36). D'ailleurs, le *coracoïde* existe chez les Mammifères supérieurs, mais à l'état rudimentaire (*processus coracoïde* de l'*omoplate* humaine) et cet os, unique chez l'adulte, est formé de deux ossicules dans l'embryon.

Bassin.

10°) Chez les Cotylosauriens — permiens — l'*ilion* se projette vers l'arrière ; il n'y a pas de foramen entre le *pubis* et l'*ischion* (fig. 38).

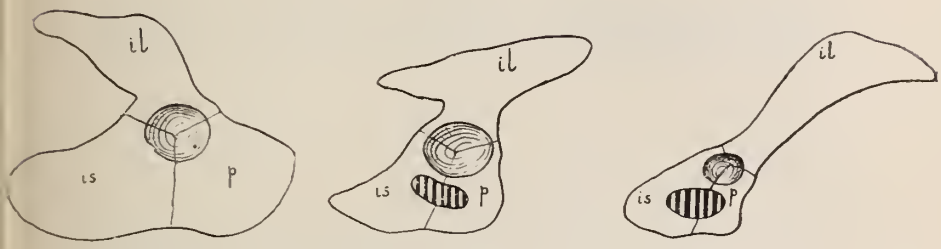


Fig. 38. Type cotylosaurien — Fig. 39. Type cynodonte — Fig. 40. Type mammifère

L'*ilion* des Cynodontes — triasiques — a encore une projection vers l'arrière, mais moins forte, et de plus il présente une projection vers l'avant ; entre le *pubis* et l'*ischion* existe un foramen (fig. 39).

L'*ilion* des Mammifères a une forte projection vers l'avant (fig. 40) ; il y a lieu de remarquer que l'*ilion* des Mammifères Monotrèmes a une portion postérieure faible, mais distincte. Le foramen obturateur entre le *pubis* et l'*ischion* est un caractère mammalien.

CONCLUSION

Si je ne craignais de paraître fastidieux, je pourrais allonger la liste et porter la comparaison sur d'autres os du crâne, sur les vertèbres, les côtes, les os du carpe et du tarse.

Dans cette revue de caractères, je n'ai pas fait de théorie, ni hasardé d'hypothèse ; j'ai simplement présenté *des faits*.

Ces faits, me semble-t-il, permettent de répondre affirmativement à la question que nous nous sommes posée au début : peut-on trouver, entre les Mammifères et les Reptiles, des intermédiaires, constituant une série à la fois morphologique et chronologique ? — Le groupe des Cynodontes du Triasique nous fournit ces intermédiaires. Les découvertes qui se multiplient dans l'Afrique du Sud viendront, je l'espère, préciser les relations indiquées déjà par les sujets qui nous sont connus. Ceux-ci, en tout cas, *permettent de se rendre compte du processus qui a conduit des Reptiles aux Mammifères.*

Une solution de continuité de plus disparaît ainsi de la lignée des êtres vivants. Ainsi se dégage, du concours presque inextricable des causes secondes, l'*unité de plan* qui est comme l'estampille mise à son œuvre par le Créateur, pour que nous puissions reconnaître Sa main et adorer Sa sagesse.

Achille Salée
Professeur de Paléontologie
à l'Université de Louvain.

LA

FONDATION D'UNE FOURMILIÈRE

Les fourmis sont universellement répandues. Où ne rencontre-t-on pas, actives et chercheuses, ces petites ouvrières affairées ? Le sol est parcouru en tous sens par ces quêteuses de provende ; la végétation, même la plus élancée, n'est pas à l'abri de leurs visites ; elles grappillent partout, et leur butin va remplir leurs souterraines demeures. Le sous-sol entier est travaillé de galeries où se déploie une activité sans trêve, où s'agite la vie. On a dit — et avec raison — que la fourmi était maîtresse du sous-sol, comme l'homme est maître du sol. Dans nos régions, à chaque instant, les fourmis surgissent sous nos pas. Et dans les pays où la faune est encore peu connue, les entomologistes en découvrent fréquemment de nouvelles espèces. Jusque dans les parages où la vie subsiste à peine, telles les montagnes les plus élevées, les formicides sont représentés par des variétés inattendues. Ainsi, en plein Himalaya, une faune spéciale de fourmis comprend jusque dix formes paléarctiques et cinquante formes indo-malaises.

Mais à quoi est due cette prodigieuse expansion ? C'est que les fourmis possèdent, avec une faculté de multiplication très rapide, un don de colonisation supérieur, une grande souplesse d'adaptation à tout milieu, une résistance vitale à toute épreuve. Tels sont les fac-

teurs principaux de leur merveilleuse puissance de dissémination.

J'eus l'occasion d'observer naguères un cas typique de colonisation, dans des conditions si précaires et si périlleuses pour mes pionnières qu'on a peine à croire à la ténacité de vie, à l'acharnement opiniâtre qu'il leur fallut déployer pour vaincre toutes les difficultés et propager l'espèce malgré tout. Mes observations formeront le corps de cet article.

Pour en faciliter l'intelligence, je les ferai précéder d'un bref aperçu sur la dissémination des fourmis et la fondation des colonies nouvelles.

On sait que les fourmis, comme les abeilles, leurs cousines, vivent en groupements organisés. Ces associations, qui, à première vue, paraissent semblables, présentent cependant entre elles de profondes divergences, et, pour l'objet de ce travail, il en faut rappeler deux.

Dans la ruche, le régime est monarchique : dans la fourmilière, l'état social paraît avoir atteint une phase ultérieure d'évolution : la fourmi préfère le régime oligarchique et s'accommode même, s'il le faut, du régime républicain.

Les abeilles qui composent une ruche sont toutes filles d'une seule mère, appelée reine, dont le rôle unique est de pondre. La communauté des fourmis, au contraire, renferme plusieurs femelles fécondées, ou reines, qui vivent en parfaite intelligence et pondent les œufs d'où naîtra toute la population. Le pouvoir est aux mains d'un groupement de reines qui varie du triumvirat au décemvirat.

Autre différence importante. Une jeune reine abeille essaime : elle s'échappe de la ruche maternelle poursuivie par toute une turme de neutres, ouvrières

toutes dévouées. Qu'elle trouve ou construise une demeure et la voilà chez elle dans un état tout organisé, dont la population a été fournie par la ruche-souche. Il n'en est pas ainsi de la reine fourmi. Elle abandonne le nid, son berceau, seule, isolée. Les neutres, privées d'ailes, qui la voient disparaître dans les airs avec le mâle qui la poursuit, ne lui seront d'aucune aide. Elle porte en elle tout l'avenir d'un peuple, qui lui devra toutes choses, même la vie. Elle débute en fondatrice d'empire.

La jeune reine, hardie, a pris son essor vers l'azur illimité et vers l'inconnu. Où tombera-t-elle? Sera-t-elle aidée et par qui ? Ou bien se trouvera-t-elle seule, toute seule, avec son instinct, avec le mandat impératif de l'espèce qui veut d'elle, sur le lieu où elle tombe, une colonie en plus ?

A en croire certains opuscules de vulgarisation, ces problèmes n'ont pas encore été élucidés. Telle une brochurette de M. Mercereau (1) intitulée : *Les fourmis, leurs caractères, leurs mœurs*. Voici ce qu'il dit (p. 16) :

« Quant aux femelles qui se sont égarées en s'éloignant trop de la maison paternelle, on ne sait pas au juste quel peut être leur destin, bien que quelques auteurs aient pensé qu'elles fondaient ailleurs un nid. » Plus loin, à la question : comment se fonde une colonie, l'auteur répond : « Les entomologistes sont encore peu d'accord sur ce point et les avis sont partagés. On a supposé deux origines principales. Si la jeune reine après le vol nuptial, ne rentre pas au nid paternel, ou elle fonde d'elle-même un autre nid, ou elle s'associe avec un certain nombre d'ouvrières et, avec leur aide, entreprend la construction d'une fourmilière nouvelle.

» La question ne pouvait être résolue que par des

(1) BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE, n° 2. Gauthier, Paris.

observations répétées et décisives, mais toutes celles qu'on a entreprises ont été si contradictoires, qu'elle est loin d'être tranchée.

» La première version est à peu près abandonnée depuis que les expériences d'Hubert d'Ebrard et de Forel ont conduit ces naturalistes à penser qu'une fourmi seule ne peut mener à bien sa progéniture. Forel se montre très affirmatif sur ce sujet.

» Quant à la deuxième hypothèse, les résultats ont été très différents : quelques expérimentateurs sont arrivés à faire adopter des reines étrangères à des fourmilières, mais Lubboch conclut ainsi : « Pour moi, » je n'ai jamais vu adopter dans aucun cas les reines » que j'ai placées dans mes fourmilières. Il est possible » que cette différence provienne de ce que les fourmis sur » lesquelles j'ai expérimenté vivaient depuis longtemps » en république : je sais en effet que si les abeilles ont » été longtemps privées de reine, il est impossible de » leur en faire adopter une autre. »

Pour « la première version », je ferai remarquer que Forel dit ailleurs à peu près le contraire de ce qu'on lui fait dire ici, et les observations personnelles que j'exposerai, montrent précisément comment la jeune reine, par elle-même, parvient à fonder une nouvelle colonie.

Pour ce qui est de la deuxième hypothèse, il serait exagéré de dire que la question est tranchée. Les observations ont été très nombreuses, savamment menées et, dans bien des cas, décisives. Qu'elles soient en apparence contradictoires, il n'y a rien qui doive étonner, quand on sait combien cette question est complexe, puisque la solution varie selon l'instinct, la façon de vivre de chaque espèce, selon les relations d'égalité, de subordination, ou d'esclavagisme que les espèces ont entre elles, suivant les circonstances spéciales qui font dévier ou adaptent au milieu la routine

instinctive. Ce sujet a été étudié de près, parce qu'il touche à l'évolution morphologique et physiologique. Un progrès énorme a été réalisé dans ce domaine grâce aux études patientes de Wasmann, Santschie, Wheeler, qui ont conçu sur la genèse des instincts esclavagistes des théories neuves, bien établies, mais quelque peu divergentes.

Il ne nous est pas possible ici, de résumer, en tenant compte des modes propres à chaque espèce, ce qui a été écrit au sujet des fondations de colonies (1). Nous donnerons d'une façon générale, et forcément incomplète, la classification des différents genres possibles de fondation... Ces cadres schématiques et simplifiés ne répondent à la réalité que dans certains cas. Il faut les accepter comme pouvant s'élargir et se modifier. La vie est trop spontanée pour que ses manifestations puissent se fixer dans des catégories *a priori*.

Les jeunes mâles et les jeunes reines d'une colonie de fourmis ont atteint la complète maturité sexuelle. Ils montent de leur retraite souterraine vers la lumière. Arrivés à la porte du nid, ils gravissent une petite pierre, une brindille propice, d'où ils s'élancent en ligne droite dans l'espace. C'est le vol nuptial. Si le mâle est de petite taille, comme chez les *Lasius flavus*, il sera emporté, pendant et renversé, comme chez le hanneton, dans les airs.

Le voyage de noce aérien s'achève. La jeune reine s'abat sur le sol, éperdue, ivre encore, fécondée pour la vie. Le mâle l'a quittée, il s'en est allé, songeant aux joies éphémères, périr désormais sans utilité comme sans but.

(1) M. Piéron s'est chargé de résumer ces fondations et ces théories dans un article bien documenté dont nous nous sommes servis. REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES, 1910, pp. 726-736 ; 769-779.

La reine, elle, a un but. Elle se ressaisit, il lui faut vivre, vivre une vraie vie, une vie pour les autres. Décidée, elle passe son Rubicon, elle s'arrache les ailes devenues inutiles pour l'existence sédentaire qu'elle mènera désormais.

Cette volonté, qui est le tout de sa vie, devra tenir compte, dès son atterrissage, des conditions favorables ou défavorables où il se produit. Pour elle, le moyen le plus sûr de réaliser son but sera de trouver des aides de bonne volonté, de se faire adopter par eux. Cette adoption sera tantôt amicale : elle se fera spontanément de la part de fourmis neutres, de son espèce ou d'espèce différente, mais sympathiques. Tantôt l'adoption sera amicale, mais avec assassinat. La jeune reine pénétrera dans une fourmilière, y tuera les reines régnantes et leur succédera. Tantôt l'intruse s'imposera de force à une population hostile en se livrant à un véritable carnage. Elle exterminera la population entière et se suscitera un peuple des jeunes encore au berceau. Enfin il arrivera parfois qu'elle reste seule et sans aucune aide. Nous allons examiner l'une après l'autre ces diverses situations.

1° Si la jeune reine a pris son vol à l'encontre d'une légère brise, elle atterrira tout près de la fourmilière où elle a passé sa jeunesse. Chue, elle attend quelque temps sur place, avant de se ressaisir. Pendant cet arrêt, une neutre la rencontre, s'approche avec précaution, la palpe des antennes. Étonnée, elle reconnait l'odeur caractéristique du nid. D'où vient qu'une reine se soit égarée par ici? Il faut au plus tôt la ramener sous terre, en lieu sûr. Aussitôt dit, aussitôt fait. Elle se met dans le prolongement de la reine, tête contre tête, elle la saisit par une des mandibules : puis, par un mouvement tournant rapide et sûr, on s'oriente vers le nid, et l'ouvrière, à reculons, entraîne l'égarée. C'est l'*aide amicale*. La reine, toute à sa joie, se laisse faire. On par-

court ainsi un bout de chemin ; puis la meneuse se détache, fait quelques pas, vérifie la direction, s'attache de nouveau à son fardeau, virevolte, s'il le faut, et en route... Les voici tout près du nid. A leur approche tout s'anime ; on prodigue les signes de joie et les attentions. La jeune reine descend par les chambres des cocons, les réfectoires des larves, jusqu'aux salles les plus profondes réservées aux reines. Là elle coulera, à jamais sans lumière, des jours paisibles et heureux dans l'état florissant qui l'a vue naître. Sa fécondité en prolongera l'existence.

2° Une autre jeune reine, tombée près du nid, n'a pas été remarquée et est restée sans secours. Elle cherche une petite cavité constituant un abri, heureuse si la bonne fortune lui fait découvrir un nid abandonné. Elle s'y loge et attend. Le jour suivant, une fourmi chercheuse pénètre chez la recluse et l'on fait, ou l'on refait, connaissance. La visiteuse s'échappe bientôt, va avertir quelques compagnes et l'on vient s'installer avec la nouvelle reine. Ce sera l'*adoption amicale*. Si ces visiteuses sont du même nid que la reine, nous verrons donc s'établir une nouvelle colonie *par scission*.

Mais il arrive aussi que les fourmis qui adoptent la jeune reine ne soient pas de la même fourmilière. Il arrive même qu'elles n'appartiennent pas à la même espèce. Et alors, voici donc, chose étrange, des neutres d'une espèce qui pousseront l'abnégation jusqu'à élever, comme leur propre progéniture, des larves d'une tout autre espèce. Certains entomologistes ont élevé des doutes sur ce fait : mais sa réalité a été démontrée péremptoirement par les observations du P. Wasmann. C'est un cas d'*adoption amicale sans violence*.

3° D'autres fois la jeune reine parvient à se faire recevoir dans une fourmilière de son espèce dépourvue de reine, ou à s'installer tout simplement dans un nid parfaitement constitué d'une autre espèce. Cette intrusion

audacieuse sera cependant d'ordinaire punie de mort. C'est la règle. Toutefois certaines espèces éprouvent de réelles sympathies réciproques, une sincère myrmécophilie. Il en est même qui vont jusqu'à ramener dans leur propre nid de jeunes reines tout à fait étrangères. Ces femelles introduites vivent en parfaite intelligence avec les reines de leurs hôtes. Les deux générations évoluent parallèlement, et alors on voit se développer, dans une patrie commune, deux peuples indépendants, en parfaite entente, une Société des Nations en miniature ! L'on crée des alliances défensives sérieuses. Telle espèce guerrière, constituée de vigoureux soldats, sera la gardienne fidèle et sûre des petites ouvrières d'une espèce plus faible, qui, au fond du nid commun, vaqueront cordialement aux soins du double ménage.

4° Il arrive même parfois que la paix naisse de la guerre. Une jeune reine entre dans un nid, elle y tue les reines indigènes ou les chasse. Elle s'adjuge, sans plus, le souverain pouvoir. Les bénévoles sujets l'adoptent : c'est l'*adoption amicale avec assassinat*. C'est une des façons d'usurper la couronne.

5° En voici une autre, qui se complique de régicide. Les neutres vont jusqu'à tuer leur propre reine, pour la remplacer par la jeune reine intruse d'une autre espèce, dont elles se sont éprises. Peu à peu les ouvrières régicides meurent, et, au bout de deux ou trois ans, le nid ne compte plus que des individus nés de la femelle régnante. La fourmilière a changé d'espèce.

6° Enfin un dernier cas peut se présenter : *l'intrusion violente* avec carnage en grand. La jeune reine sait qu'elle s'imposera d'autant plus facilement qu'elle se trouvera en face d'ouvrières plus jeunes. Elle tue donc les reines, elle tue tous les vieux serviteurs, elle tue tout ce qui a des pattes, tous les insectes parfaits; puis, repue de crimes, elle attend que les derniers rejetons

de la reine assassinée achèvent leur métamorphose dans leurs cocons, en sortent et la servent aveuglément, avec amour filial.

Telle est la gamme des modalités qu'offre, dans le monde des fourmis, l'adoption d'une nouvelle reine. On y reconnaît des traits de ressemblance avec l'histoire des hommes, et ce n'est, hélas ! pas à l'honneur de ces derniers !

Mais, outre ces procédés plus ou moins licites que peut employer une jeune reine décidée à régner, il en est une qui est tout à son éloge et qui témoigne d'une abnégation et d'une ténacité invraisemblable dans la lutte pour la vie.

Jusqu'ici il a été question de fondations avec le concours de neutres. Mais lorsque le hasard ne favorise pas la jeune reine tombée du ciel et ne lui fait pas rencontrer de neutres ? La voici donc, seule, réfugiée dans la première cavité venue ; elle l'agrandit et même s'y enferme vivante et solitaire pour y fonder, par ses propres moyens, une colonie nouvelle. La jeune reine se conduira alors à peu près comme les *Belanogasters* observés par M. Roubaud au Congo (1). « Les femelles fécondées deviennent des fondatrices solitaires d'un nid nouveau, elles construisent, puis pondent et nourrissent seules leurs larves à la manière des reines fondatrices des nids de *Polistes* ou de *Vespa* ; fréquemment il y a association, dans le début, entre femelles issues du même nid. »

Ce genre de propagation, vu son importance, ne pouvait passer inaperçu. Dans de très brèves communications, quelques entomologistes l'ont touché (2).

(1) C. R. DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, t. CLI, 1910.

(2) Forel, *Origine d'une fourmilière de Camponotus ligniperdus*. ANN. DE LA SOC. ENT. DE BELG., 1902, pp. 180-182 et 294-296.

Je regrette de n'avoir pu consulter Janet : *Observations sur les fourmis*. BULL. DE LA SOC. ZOOL. DE FRANCE, 1891, pp. 168-171 ; 1904, pp. 33-35.

Une bonne fortune nous a permis de suivre de près, dans ce genre de fondation solitaire, des *Lasius Flavus*. Ces fourmis, comme on le sait, nichent sous terre dans les endroits humides; elles ne sortent presque jamais du nid, dans lequel elles élèvent des pucerons sur des racines.

La Revue Scientifique (1) rapporte qu'à Bruxelles, le 15 août 1901, vers quatre heures de l'après-midi, « une pluie de fourmis ailées s'est abattue sur la ville; dans certaines rues, des milliers de ces insectes couvraient le trottoir ». Le 11 juillet 1917, le même fait se reproduisit. De la place Rouppe à la place Poelaert, le sol était jonché de femelles ailées. On les voyait cherchant entre les pavés la terre molle pour s'y blottir.

Ce jour-là l'état de l'atmosphère ne manifestait rien de particulier. Le ciel était clair, sans signe d'orage, la chaleur normale. A quatre heures, à la sortie des classes, un élève accourt chez moi : « Il y a par toute la cour comme de grosses fourmis ». L'occasion était belle. J'avais sous la main de jeunes et bienveillants collaborateurs : je pourrais recueillir en peu de temps de très nombreux sujets d'expérience.

Quelques instants après, disséminés par la cour en briques de l'Ancien Collège Saint Michel, courbés en Z, les épaules aux genoux, la main gauche à hauteur de la tempe, le pouce obturant le goulot du flacon, dont je les avais munis, mes élèves attrapent, tâchent d'attraper les bestioles, qui fuient sémillantes et dignes, faisant moirer le lustre des segments abdomi-

Emery : *Sur l'origine des fourmilières*. C. R. du VIme Cong. int. de Zool., 1904, pp. 459-461. Southcombe : *Formation of a new nest by Lasius niger*. Trans. Ent. Soc., London, 1907, pp. lxxv-lxxvii, 1, C. R. Ac. Sc., T. 151, 1910, p. 554.

(1) Revue Scientifique, 1902, p. 533.

naux. Elles glissaient dans les doigts, se coulaient dans les manches, disparaissaient dans les blouses. Les bambins s'en amusaient beaucoup. Moi, j'étais inquiet sur le sort de mes pauvrettes. Certains de mes jeunes chasseurs les saisissaient avec tant de fermeté qu'ils faisaient de leur flacon un caveau funéraire.

Malgré tout, la chasse terminée, après avoir rejeté les malmenées et les impotentes, je possédais environ deux cents reines intactes.

Mais dans quel logis les enfermer ? Imaginez une sorte de baquet en plâtre ayant la forme d'un petit in-octavo de trois cents pages. Je l'avais coulé de façon qu'il présentât une cavité parfaitement lisse et plane profonde de 3 cm. Un verre de 13 × 18 la recouvrait. Ce verre-couvercle débordait dans tous les sens de deux mm. et était maintenu de trois côtés, dans un bourrelet de plâtre, formant cadre. Le verre avait ainsi une stabilité suffisante et, en le faisant glisser, on pouvait ouvrir le nid en cas de nécessité.

Dans la partie rectangulaire, non recouverte par le verre, j'avais creusé une petite cavité ellipsoïdale qui, remplie quotidiennement d'eau, assurait au nid par infiltration, grâce à la porosité du plâtre, le degré normal d'humidité.

C'est dans ce nid, rempli au préalable à mi-hauteur de terre jaune, que je parquai mes captives. Apeurées, elles grouillaient les unes sur les autres, entassées dans un coin, comme, sur un navire en partance, les émigrants polonais.

Le lendemain on s'était séparé. Quelques reines, faisant bande à part, s'étaient terrées, isolées dans un angle. Une trentaine occupaient l'angle opposé et avaient un peu remué le sol. Le gros de la troupe était resté près de la sortie, répandu tout le long du bord du nid. Les unes sur les autres, les vives reines « fourmillaient », se disputaient, tâchaient de se glisser entre les corps de leurs compagnes et de fuir la lumière.

Au milieu du nid, sur le dos, les trois paires de pattes raidies, avaient été rassemblés les cadavres.

Le 13 juillet, après avoir préparé deux autres nids en plâtre, propres et moites, remplis à demi de sable blanc, j'y introduisis mes prisonnières, en respectant les groupes qu'elles avaient formés elles-mêmes.

J'avais ainsi sept groupes, dont cinq, composés de celles qui étaient trop fières pour se soumettre à l'esclavage, se fondirent peu à peu. Deux mois plus tard, le 16 septembre, il me restait encore dans ces groupes cinquante-quatre fourmis. Mais beaucoup d'entre elles, ayant assisté, stupéfiées, à ces grandes hécatombes, découragées, abattues, sans espoir comme sans mouvement, s'abandonnèrent à la mort implacable et fatale. Chaque matin, on enterrait quelques cadavres, on se serrait, on se sentait mourir.

Cependant deux groupes avaient pris une toute autre tournure. Ils étaient logés dans un nid en plâtre profond de 4 mm seulement, ce qui permettait d'observer de très près les habitants et leur rendait impossible la confection d'une galerie souterraine où ils auraient pu se dissimuler. Ce nid mesurait 13 cm sur 20. En lui résidait l'espérance. Il renfermait un groupe de six fourmis et un groupe de trois. Pour éviter toute confusion dans l'exposé, il sera dorénavant exclusivement question du groupe de six.

Les vaillantes reines avaient décidé qu'il fallait vivre. Sitôt dans leur nouveau nid, les voici à l'œuvre ; se coulant le corps dans le sable, pesant de tout leur poids, elles oscillaient de leur corselet ovalaire et de leurs pattes, comme un navire par mer calme. Le sable mis en mouvement s'effaçait ; une cupule se formait ; on touchait le plâtre du fond. Puis ces reines se firent ouvrières : malaxant quelques grains entre les mandibules, elles se mirent à construire posément et petit à petit, un léger remblai en faucille, semi-

circulaire, bien régulier, bien adhérent au verre. Sur la crête courait un chemin de ronde de 2 mm. César l'eût pris pour un agger mignon, construit par ses troupes à Aduaticum, et les néolithiques pour un de leurs remparts en miniature. Mais tandis que les Romains, au dire du philologue Zilinski, se sustentaient au moyen du bon froment des Gaules et que nos préancêtres, à en juger par les hameçons en silex trouvés par milliers autour des étangs de la Campine, faisaient de plantureux repas au poisson, nos fourmis, elles, se passaient de toute réfection. Elles n'avaient pas mangé, ne mangeaient pas et même s'obstinèrent à refuser toute nourriture. Elles s'enterraient là, vivantes, dans une chambrette de 15 cm², entre un plancher de plâtre bien balayé et un toit de verre froid.

A l'usure de la vie à entretenir, aux dépenses d'énergie-travail pour la laborieuse confection d'un gîte bien clos et l'inhumation des morts, s'ajoutèrent bientôt les épuisantes pondaisons.

Depuis quelques jours les futures mères se tenaient bien coites. Un léger mouvement pendulaire des antennes était le seul indice d'une vie toute de joie intérieure : elles sentaient en elles se nouer la vie et se gonfler l'oviducte.

En dignes reines, elles observaient tout le protocole de leur toilette. De l'éperon pectiné attaché à l'extrémité inférieure du tibia, elles gardaient propre et fraîche leur petite bouche inutile ; elles se passaient les antennes entre les mandibules avec solennité. Elles se soulevaient et, maladroites, la tête entre les pattes d'avant, l'abdomen recourbé, s'efforçaient d'atteindre, parvenaient à lubrifier l'orifice génital. Tout leur corps était lisse, teinté de moire glauque, couvert d'un léger duvet droit, court et miroitant. Leur corselet plus clair affinait leur taille toute menue. Elles sympathisaient entre elles, pressaient

leurs voisines de tout le poids de leur abdomen rebondi. Les reines seraient-elles sujettes à la jalousie ? J'aime à croire que d'autres sentiments plus relevés présidaient à ces petites querelles amicales, à ces tiraillements pleins de dignité. Elles marchaient vers l'amie, toutes mandibules ouvertes, et jouaient à se broyer lentement. Heureuses, et comme pour se communiquer leurs espérances, elles se caressaient de leurs belles antennes filiformes, coudées au delà du premier article prolongé, qui rappelle un fléau en miniature et caractérise la fourmi parmi tous les insectes. Elles ouvraient leurs antennes dans un geste gracieux, onduleux ; elles se titillaient ainsi finement du vertex à l'abdomen ; et, comme le fléau bat le chaume et en chasse le grain, moisson en espérance, ainsi ce frôlement de l'antenne sur l'abdomen de la mère accélérait peut-être vers l'exode cette autre semence de vie, l'œuf, la colonie en espérance.

Un matin, le premier août 1917, parut le premier œuf. Remonté quelque peu le long de l'abdomen, l'œuf adhérait à l'inclinaison du dernier segment. Quel émoi dans une vie de reine-mère ! L'exemple fut salutaire. Voici, peu de jours après, dans les deux groupes, quelques œufs agglomérés, blancs-jaunâtres. On se les passait de bouche en bouche pour les humecter.

L'on ne voit guère les reines descendre à des œuvres si serviles ! C'était bien. Mais s'abaisseraient-elles, plus tard, jusqu'à prendre soin de la larve ? Une reine *myrmica rubra*, prolétaire, n'aurait pas hésité. Elle n'a, celle-là, dans la vie normale de la fourmilière, aucun souci de garder la dignité de son rang. On la voit s'unissant aux ouvrières, nourrissant elle-même les larves, osant même sortir du nid et pourvoir à sa nourriture. J'en vis une, il y a quelques jours, sur un tamaris, léchant sans pudeur un tout petit parasite. Une *Lasius flavus* aurait eu un haut-le-cœur à ce

spectacle. Habituée à son escorte de suivantes et servie par tout son peuple, c'est une grande dame aux allures de matrone romaine. Que fera-t-elle ici, seule, sans le secours de servantes ? Eh bien, elle est mère, mère avant tout. Sans hésiter, elle prendra sur elle les charges de la maternité.

L'œuf, par l'endosmose de la salive miellée, vint à éclore ; il devint larve. La larve se dodelinait, la tête émergeant légèrement de son corps laiteux, d'un mouvement qui rappelle celui d'une bouée flottant sur une mer calme.

L'inépuisable mère ne la sevra point. Preste et alerte, la fauvette apporte à ses petits aux yeux clos, tendant leurs têtes chauves vers la becquée, une nourriture qu'elle cherche au dehors. La reine de fourmi, enclose vivante avec sa progéniture, dégorge dans le mamelon contractile de la larve avancé vers elle, ses propres réserves, un peu de sa propre vie. Si l'instinct maternel de la fourmi ne revêt pas la même poésie, ne provoque pas la même admiration que celui de la fauvette, il est plus mystérieux, plus obscur et plus profond. Il nous rend songeur, nous fait découvrir une nouvelle forme et une nouvelle merveille de cette maternité répandue par toute la nature, dont elle fait l'épanouissement le plus admirable.

Mais la larve a grandi ; ses annelets se sont formés en bourrelets ; on peut les compter aisément. Une légère flexion du corps, seul indice de la vie qui se métamorphose, se manifeste parfois. A ce point de croissance, la larve est devenue mate ; les lactuosités se sont figées ; les sinuosités aux contours fuyants se sont fondues. La larve est maintenant nymphe, imago. Dans l'intimité du léger cocon, berceau de soie jaunâtre, long de 1 mm, la jeune fourmi se forme.

Le 27 octobre, les trois premières naquirent : trébuchantes, on les eût dit déjà lasses des courses sans fin

qu'allait comporter leur vie. Leurs petits yeux affleuraient, seuls points sombres dans ces mignonnes aux transparences de sucre d'orge. Vivraient-elles, si frêles, si chétives ?

Le second jour, leur allure hésitante se raffermit. Elles se mettent à l'œuvre. Dans la digue qui les tient closes, elles creusent un ravin sur une largeur et une hauteur de 1 mm. Cette brèche exiguë leur suffit pour s'échapper de la prison maternelle. Au delà, elles trouvent un accès facile vers un tube tout proche, contenant de l'eau sucrée. Elles s'en approchent avec précaution, tâtonnant des mandibules, faisant songer aux aveugles qui, les mains étendues, explorent la route. Puis elles se mettent à lamper, toutes perdues dans leur dégustation. Enfin, comme à regret, appesanties, elles cheminent lourdement vers le nid, en musant, comme l'écolier qui, après dîner, s'en retourne à l'école.

Les jeunes ouvrières avaient donc mangé. Elles pourraient nourrir leurs mères suivant l'usage de la gent fourmi. L'avenir paraissait assuré, la colonie fondée.

Novembre vint. Les autres cocons ne s'ouvraient pas. Les froids ralentirent, puis éteignirent la vie. Mes trois petites nouvelles venues, elles aussi, dépérissaient : plus de travaux, plus d'appétit. Elles moururent. Leur petit corps de cristal fauve alla rejoindre les cocons desséchés, épars dans un coin, et les langes de leurs naissances si espérées, devinrent leurs linceuls, après une existence éphémère.

Le lecteur se rappellera que, seuls, des deux cents reines, deux groupes avaient survécu : un groupe de six reines, dont nous venons d'exposer l'histoire : leurs espérances, leur dévouement, leurs désillusions et leur insuccès. Puis un groupe de trois reines, laissé jusqu'ici dans l'ombre. Qu'advint-il de ce dernier ? Hélas ! ces trois reines, restées sans progéniture, menèrent une vie

calme, oiseuse et inutile. Au début de l'hiver, elles suivirent dans la mort leurs compagnes trépassées.

Toutes ces morts se ressemblent. Le géranium malade jaunit. Le *Lasius flavus* perd son éclat soyeux ; les teintes bleutées sombres s'épurent, les teintes noires bronzées s'éclaircissent, le jaune s'accentue. Dans ces tons, en mars, le jour meurt sur la prairie. L'abdomen, gonflé, les arceaux ventraux distendus, les petits poils parallèles érigés en forme de couronne ou de tiare, les mourantes traînent la tarière, lamentablement engluée au sol. Puis elles se couchent. Tout leur désir de vivre s'épuise en vains efforts pour ne pas se tourner le dos. Les pattes se contractent, puis s'étendent vers le haut, et se raidissent en un dernier geste de lassitude et d'abandon au destin.

Vient alors l'enterrement : les survivantes ouvrent l'agger, grain par grain. Puis l'une saisit la morte par la bouche, une autre par les pattes de devant, et l'on hale la dépouille avec hâte : elle glisse sur le dos ; le passage de la brèche s'opère péniblement. On déploie toutes ses forces, on tire ; le cadavre entre dans le monde extérieur. Là on le cale dans un coin, et on entasse du sable autour de lui. Enfin, on s'en retourne en refermant la brèche faite dans l'agger. Le travail fait oublier la morte. Ainsi en est-il aussi chez les hommes.

Le mois de novembre fut donc désastreux. Même dans le vaillant groupe des six, il fallut enregistrer deux décès.

Quatre survivantes restaient donc : suprême espoir et suprême pensée.

Avec le printemps elles pondirent. Tout le processus narré plus haut se reproduisit, mais avec une accélération qui m'étonna.

Le 20 mai 1918, de jeunes ouvrières, au nombre d'une douzaine, étaient nées et, cette fois, contraire-

ment à toute attente, un peu plus vigoureuses d'aspect. C'était le noyau d'un nid viable parfaitement constitué.

Les mères avaient eu la vie dure : elles avaient vaincu la faim longue et les intempéries d'un milieu artificiel, forcément nuisible au développement normal de la vie.

Ainsi donc, tandis que l'abeille, sa parente, essaime avec ses suivantes, pour aller fonder une colonie nouvelle, la fourmi, absolument seule, ne pouvant compter que sur ses seules ressources, se suffit à elle-même et parvient à propager sa race, à force de patience, d'abnégation. *Tantae molis erat...*

R. De Simpel, S. J.

VARIÉTÉS

I

QUEL FUT L'AUTEUR DU « DE QVADRANTE GEOMETRICO LIBELLVS » ÉDITÉ A NUREMBERG, EN 1594, AUX FRAIS DE CORNEILLE DE JODE ? (1)

L'excellent mémoire de M. Van Ortroy, relatif à l'*Œuvre cartographique de Gérard et de Corneille de Jode,* forme le 44e fascicule du Recueil de travaux publiés par la Faculté de Philosophie et Lettres de l'Université de Gand. Disons tout d'abord qu'il se distingue par le souci de l'exactitude auquel l'érudit professeur nous a habitués et qui fait le mérite principal d'une étude bibliographique.

Les de Jode sont très oubliés ; bien à tort cependant, car ils furent l'un et l'autre des géographes de valeur. Dans son *Histoire des Sciences Mathématiques et Physiques chez les Belges* (2), Quetelet ne prononce pas même le nom de Gérard de Jode. Quant à Corneille, fils de Gérard, voici tout ce que l'historien belge trouve à en dire :

« Géographe de mérite... Cornelius Jode d'Anvers... avait parcouru la Norwége, le Danemark, l'Islande et d'autres régions éloignées, malheureusement il fut enlevé à la fleur de son âge. En revenant d'Espagne il voulut rapporter avec lui une grande quantité d'or qu'il avait gagnée pendant ses voyages ; mais, en

(1) A propos de *L'Œuvre cartographique de Gérard et de Corneille de Jode,* par Fern. Van Ortroy, professeur à l'Université de Gand. Gand, E. Van Goethem, 1914. Un volume in-8°, XXXV et 131 pages, avec 5 planches hors texte et en tête un portrait de Gérard de Jode, d'après Fr. Van den Wyngaerde.

(2) Bruxelles, Hayez, 1864, pp. 125-126.

cherchant à éluder les décrets royaux qui défendaient l'exportation de ce métal précieux, il devint victime de son imprudence. Il se fit une cuirasse d'or, et par suite d'un brusque refroidissement, il fut saisi d'un mal de poitrine et mourut en 1600, à peine âgé de 30 ans. Il fut enterré à Sainte-Walburge et ses frères lui firent dresser une épitaphe commémorative. »

M. Van Ortroy nous en donne le texte (1), qui précise la date de la mort de Corneille et la place au 18 octobre 1600. L'épitaphe corrige aussi l'âge attribué par Quetelet au défunt et nous apprend qu'il était dans sa 32e année et non pas « âgé à peine de 30 ans ».

Gérard de Jode, père de Corneille, naquit à Nimègue, en 1509, et mourut à Anvers le 5 février 1591, dans sa maison de la rue des Boggards, dont il était propriétaire. Son corps fut inhumé au cimetière Notre-Dame. Gérard de Jode appartenait à la noblesse, comme en témoignent les armoiries de la famille qui ornent le portrait placé par M. Van Ortroy en tête du volume.

Après avoir achevé ses humanités, Gérard servit pendant quelques années dans les armées de Charles-Quint ; puis il s'établit à Anvers, qu'il ne quitta plus, et où il acquit le droit de bourgeoisie, le 26 juillet 1549. Dès 1547, il fut reçu dans la gilde anversoise de Saint-Luc en qualité de franc-maître : il était alors marchand d'estampes, « printvercooper ». Un octroi du 10 décembre 1550 lui accorda la licence d'imprimeur.

Mais, plus tard, par une ordonnance du 19 mai 1570, le duc d'Albe enjoignit aux imprimeurs et libraires, de reproduire, endéans les vingt jours, leurs lettres d'admission, pour qu'elles fussent renouvelées après examen devant Christophe Plantin, nommé prototypographe des Pays-Bas, le 10 juin 1570. Gérard de Jode se présenta, dans ce but, à Plantin, le 14 octobre de la même année, et après six jours il fut de nouveau autorisé à faire rouler ses presses. Le certificat qu'il reçut à cette occasion le qualifie de « tailleur et graveur de figures en cuivre ».

Gérard de Jode, dit encore M. Van Ortroy auquel j'emprunte tous ces détails, était doué d'un rare talent et d'un esprit varié. Quoique versé dans des arts différents, il ne cessa jamais d'être graveur et imprimeur. Il fit mieux. De simple « constvercooper », marchand d'images qu'il était au début de sa carrière, il ne tarda pas à se ranger parmi nos plus importants éditeurs et

(1) Pp. XXVII et XXVIII.

graveurs de portraits et d'estampes historiques et religieuses. Toutefois, en dehors de ces planches, son « excudit » ne semble se rencontrer que sur des livres à gravures, tels que des traités d'architecture, etc.

Notons à ce propos, que Gérard de Jode fut en relation avec des artistes d'élite : les Wierix, Martin de Vos, Adrien de Weert, H. Colaert, Corneille de Cort, François Hogenberg et d'autres encore. Parmi ses principaux clients, il faut compter Christophe Plantin.

Gérard fut-il juif ? On l'a dit, et son nom pourrait le faire croire. M. Van Ortroy ne l'admet pas et justifie son opinion par d'excellentes raisons.

Après avoir ainsi brièvement rappelé ce que furent les de Jode, passons à leur œuvre. M. Van Ortroy nous affirme qu'il ne s'occupe, à proprement parler, que de leur œuvre cartographique. C'est trop de modestie. Le professeur de l'Université de Gand nous donne, de leurs autres travaux, une bibliographie « sommaire », mais déjà riche.

Les cartes géographiques des de Jode se divisent naturellement en deux groupes : les cartes volantes et les atlas.

Un des intérêts principaux des cartes volantes consiste dans leur excessive rareté. Grâce à de patientes recherches dans les archives du Musée Plantin, M. Van Ortroy parvient à établir l'existence de trente-cinq d'entre elles. En mettant à contribution toutes les bibliothèques importantes de l'Europe et même quelques-unes de l'Amérique, il a réussi à en retrouver dix-neuf, (seize de Gérard, trois de Corneille), dont on connaît maintenant un, rarement deux exemplaires. Sur ces trente-cinq cartes, l'érudit bibliographe nous dit à peu près tout ce qu'on en peut apprendre au lecteur sans aller jusqu'à lui mettre sous les yeux une reproduction photographique.

L'*Atlas* eut deux éditions, l'une et l'autre en deux volumes. La première, datée de 1578, est intitulée *Speculum Orbis Terrarum*. M. Van Ortroy en connaît huit exemplaires : quatre en Allemagne, à Carlsruhe, Dresde, Erlangen et Hambourg ; un en Hollande, à Middelbourg ; deux en France, à la Bibliothèque Nationale de Paris et à Nantes ; un en Amérique, à Washington. La Belgique ne possède malheureusement plus rien de la grande œuvre cartographique anversoise !

La seconde édition de l'*Atlas* parut, en 1593, sous le titre légèrement modifié de *Speculum Orbis Terrae*. L'ouvrage existe

cette fois au Musée Plantin à Anvers et à la Bibliothèque Royale de Belgique, à Bruxelles. On en connaît en tout treize exemplaires. Les onze qui sont à l'étranger se trouvent à Nantes et à la Bibliothèque Nationale de Paris ; à Leiden, à Genève, au British Museum de Londres et à Washington, enfin, à Berlin, Göttingen, Weimar, Prague et Vienne. Les titres des quatre volumes sont reproduits, par M. Van Ortroy, en photogravures hors texte, et il en est de même du verso du titre du tome I de la première édition, qui contient une dédicace richement encadrée.

Les cartes des deux volumes sont décrites une à une avec le même soin, le même déploiement d'érudition que les cartes volantes. Je ne saurais entrer dans l'énumération de leurs particularités ; mais, j'appelle l'attention sur l'analyse des liminaires (1) des tomes premiers des deux éditions. Elle nous fournit des renseignements importants sur les habitudes de travail des deux de Jode. C'étaient des éditeurs et des graveurs sur cuivre, qui pour le fond de leurs ouvrages savaient se faire aider par les savants en renom. J'aurai, dans un instant, à montrer Corneille de Jode sous ce jour spécial à propos de ses relations avec Liévin Hulsius.

Dans son introduction, M. Van Ortroy nous donne un relevé sommaire et provisoire des planches et livres sortis de l'officine de G. de Jode et sur lesquels se lit une des formules habituelles (2) : Impressa per G. de Jode, vaeneunt a G. Judaeo, exstant apud G. de Iode, prostant apud G. de Iode, Antverpiae apud G. Judaeum, excudebat G. Judaeus, by G. de Iode, caelabat et excudebat G. de Iode, uutghegheven door Geraert de Jeude, in hanc formam redacta (il s'agit d'une carte) per G. de Jode opera G. I. tabula ad unguem depicta. La liste des ouvrages et planches sortis de l'officine de Gérard de Jode, déjà riche, nous l'avons dit, n'est cependant pas aussi longue que la multiplicité de ces devises pourrait le faire croire. M. Van Ortroy fait mieux que de nous en donner, pour employer ses expressions, un simple « relevé sommaire », il entre, sur chacune de ces pièces, dans quelques détails.

Le relevé des impressions dues à Corneille de Jode est plus court encore, car il ne comprend qu'un seul volume ; mais, il est bien intéressant. En voici d'abord le titre complet :

(1) Pp. 45-48 et 86-88.
(2) P. XII.

De Qvadrante Geometrico Libellvs. In Qvo Qvidqvid Ad Linearvm Et Svperficiervm, Vtpote Altitvdinvm Et Latitvdinvm, Dimensiones facit lucidissime demonstratur. Additae figurae aeneae XXXVII. ad maiorem doctrinae intelligentiam & lucem hactenus non ita expositae. Sumptibus & expensis Cornelii de Ivdaeis editus. Noribergae, Typis Christophori Loghneri. M.D.XCIIII (1).

Ce gracieux petit volume a tout l'attrait d'un beau livre d'images. Il est devenu rarissime et on n'en connaît plus que cinq exemplaires : un à la Bibliothèque Royale de Copenhague, un à l'Observatoire de Poulkova, un à l'Université de Göttingen, un à la Bibliothèque Impériale de Vienne, un enfin au Collège de la Compagnie de Jésus à Louvain. J'ai ce dernier sous les yeux. Depuis longtemps je me proposais de démontrer, en quelques lignes, que l'auteur du texte explicatif est un savant bien connu dans l'histoire des mathématiques et de la géographie en Belgique, le Gantois Liévin Hulsius (2). M. Van Ortroy m'en fournit l'occasion et je la saisis avec empressement.

Et tout d'abord, Corneille de Jode dit lui-même dans la dédi-

(1) Le volume est un in-4° de 8 pages non numérotées, mais signées (A), A_2, A_3, (A_4), 63 pages numérotées et une planche hors texte contenant deux figures, l'une au recto et l'autre au verso.

Pour arriver au nombre de 37 figures que nous verrons reparaître dans toutes les mentions de l'édition allemande, il faut tenir compte de la jolie vignette du titre, qui en occupe près de la moitié, ainsi que des armes de l'évêque Jules de Wurzbourg mises en tête de la dédicace et de celles de Jode lui-même qui se trouvent en tête de l'avis au lecteur. Elles sont gravées avec un fini et un goût remarquables.

(2) Liévin Hulsius naquit, à Gand, on ne sait au juste en quelle année et mourut, en 1606, à Francfort, où il était venu s'établir après avoir quitté Nuremberg qu'il habita d'abord, quand il émigra de la Belgique pour l'Allemagne.

Outre les ouvrages que j'aurai à citer dans le cours de l'article, on peut consulter sur Hulsius :

Histoire des sciences mathématiques et physiques chez les Belges, par Ad. Quetelet. Bruxelles, Hayez, 1864, pp. 179-180.

Notes pour servir à l'Histoire des mathématiques dans l'ancien Pays de Liège, par C. Le Paige. BULLETIN DE L'INSTITUT ARCHÉOLOGIQUE LIÉGEOIS. T. XXI, Liége, Léon de Thier, 1888, pp. 485-487.

Geschichte der Mathematik, von Abraham Gotthelf Kästner ; t. III. Göttingen, Johann Georg Rosenbusch, 1799, pp. 379-386. L'auteur y analyse, avec détail, les opuscules de Hulsius sur les instruments mécaniques.

Bibliotheca Belgica, par le bibliothécaire en chef et les conservateurs de la bibliothèque de l'Université de Gand ; 1e série, t. XIII, Gand, Corneille Vyt, La Haye, Martinus Nijhoff, 1880-1890. Les ouvrages qui y sont analysés font connaître Hulsius à un point de vue différent de celui qui nous occupe.

cace à l'évêque Jules de Wurzbourg (1) et dans l'avis au lecteur, que le *De Quadrante Geometrico Libellus* n'est que la traduction d'un autre opuscule qu'il venait de publier tout récemment « nuperrime » en langue allemande.

Cette édition allemande était toute récente en effet. Elle datait de 1594, comme l'édition latine, mais portait au titre à la fois le nom de l'auteur, Liévin Hulsius, et celui du Mécène qui se chargea des frais, Corneille de Jode. Voici ce titre, tel que M. Eneström l'a donné au tome IVe de la 3e série de la BIBLIOTHECA MATHEMATICA (2).

« HULSIUS LEV. *Theoria et praxis quadrantis geometrici... D. i. Beschreibung, Unterricht und Gebrauch des gevierdten Geometrischen u. a. Instrument...* Norimbergi, typ. Gerlach, sumptibus Cornelii de Judaeis 1594, 4°, 70 S. 37 Taf. »

Cette citation serait péremptoire et me dispenserait d'insister davantage, si l'érudit directeur de la BIBLIOTHECA MATHEMATICA avait eu lui-même un exemplaire de l'édition allemande sous les yeux. Mais, il donne ce titre de seconde main, d'après un catalogue, alors récent, d'une librairie d'ouvrages anciens, qu'il ne nomme pas. Je continue, donc, ma démonstration, car je m'étais formé une conviction bien avant d'avoir lu la note de M. Eneström.

On sait, en effet, que dans son *Historische Nachricht von den Nürembergscher Mathematicis* (3), Doppelmayr consacre une importante notice à Liévin Hulsius. Il nous apprend qu'Hulsius publia à Nuremberg, en 1594, un ouvrage, dont il donne comme suit le titre (4).

« *Theoria & Praxis Quadrantis Geometrici*, das ist Beschreibung, Unterricht und Gebrauch des gevierten *geometrischen* und anderer Instrument, damit eine jede Ebene, Höhe, Breite, Länge, Weite, Tiefe, und gewiese *Distanz* eines jeglichen Dinges nach des *Euclides* und anderer gelehrten *Mathematicken* Regel abzusehen und abzumessen, etc. mit 37 Kupffern gezieret. »

Les mots soulignés le sont dans le texte de Doppelmayr. On voit comme il concorde bien avec celui de M. Eneström et avec quel bonheur il complète les pointillés qui maquillent le titre donné par le savant suédois. Les mots très importants pour

(1) Jules von Mespelbrunn. Il fonda l'Université de Wurzbourg, où il appela Adrien Romain.

(2) Leipzig, Teubner, 1903, p. 403.

(3) Nürnberg, in Verlegung Peter Conra Monaths, 1730, p. 162-164.

(4) P. 162.

nous « Typis Gerlach, sumptibus Cornelii de Judaeis » sont, il est vrai, omis. En les supprimant, Doppelmayr ne fait que se conformer à un usage, alors comme aujourd'hui, courant, qui consiste à ne pas faire mention des noms d'éditeurs dans les titres des ouvrages cités. Mais, le Nurembergeois comble amplement la lacune dans la note, à la citation au bas de la page ajoutée. Il nous y apprend, qu'un amateur, « Liebhaber », des sciences mathématiques, Corneille de Jode d'Anvers, engagea Hulsius à publier cet écrit, « dieses *scriptum* », et qu'il lui en facilita les moyens en lui communiquant les cuivres des gravures.

A. Asher, auteur d'un *Bibliographical Essay on the Collection of Voyages and Travels edited and published by Levinus Hulsius* (1) eut sous les yeux, à n'en pas douter, le volume signé par Hulsius et de Jode. Dans la bibliographie finale, il en donne en abrégé le titre comme suit (2) : « *Theoria et praxis quadrantis geometrici, etc.* with 37 plates, Nuremberg, 1594, 4° ». Mais, dans le corps de son mémoire (3), il nous avait appris que de Jode fournit à Hulsius les planches de la *Theoria,* planches dont il avait gravé les cuivres avant d'être entré en relation avec le Gantois. C'est ce que nous avait dit Doppelmayr, mais je tenais à confirmer son témoignage par celui de A. Asher, dont le *Bibliographical Essay* a de l'autorité.

Il importe, en outre, de le remarquer, Hulsius dit ailleurs en termes exprès, qu'en 1594 il publia, à Nuremberg, simultanément en allemand et en latin, son traité relatif au quadrant. On sait, en effet, que dans son *Tractatus primus Instrumentorum Mechanicorum* (4), il donne, par ordre chronologique, une liste

(1) London and Berlin, A. Asher, 1839.

(2) P. 115.

(3) P. 14.

(4) *Tractatus primus Instrrmentorvm Mechanicorvm Levini Hrlsii. Ocvlaris Demonstratio Novi Geometrici Instrumenti, Planimetrvm dicti, vnà cum suo Indvctorio, cuius beneficio circumferentia Prouinciae controuersae, Vrbis, Arcis, Castrorum, vel quaeuis superficies in campo obseruari, dimetiri, notari, et in Charta delineari, eorumque area, siue magnitudo facile inueniri potest : Nec non Retis et triplicis tum Quadrati tum Quadrantis vsus, quibus omnis longitudinis, altitudinis, latitudinis, et profunditatis obseruatio lucidissime demonstratur.* Francofvrti Ad Moenvm, Ex Officina Typogr. Wolfgangi Richteri, impensis Autoris. M. DC. V. Cum Priuilegio S. Caes Maiest.

L'ouvrage existe à la Bibliothèque Royale de Belgique.

J'appelle l'attention sur les instruments qui sont nommés dans ce long titre : la planchette circulaire (planimetrum cum suo inductorio), le carré géométrique, le quadrant et une espèce de damier nommé retis. J'aurai à

très étendue de tous les ouvrages qui, de près ou de loin, font l'objet d'un sujet analogue à celui de son traité. Or, à la date de 1594, on y lit (1) :

« 1594. Levini Hulsii Theoria et praxis quadrantis et quadrati et instrumenti planimetri. Norimbergae, 1594. Germ. et Latine. »

Au lieu d'un seul instrument mentionné au titre, le quadrant géométrique, nous en avons cette fois-ci trois : le quadrant, le carré et la planchette circulaire, *instrumentum planimetrum* (2). Ce sont précisément les trois instruments dont s'occupe le *De Quadrante Geometrico Libellus* (3). J'observe encore que dans la bibliographie, d'ailleurs si complète, de Hulsius, il n'est pas dit un mot des deux volumes donnés en 1594 par de Jode. Silence inexplicable, presque malhonnête, si ces deux volumes étaient différents des siens. Silence tout naturel, au contraire,

revenir sur les trois premiers. Quant à la *Retis*, elle s'utilisait, par exemple, pour inscrire les résultats d'un lever à l'équerre.

La bibliographie donnée par Hulsius (pp. 2-8) est intitulée :

« Elenchus Autorum, quibus in hisce Instrumentis Mechanicis et Machinis usi sumus, quo ordine quaque lingua scripserint, qua de re egerint, et ubi impressi fuerint ».

C'est un travail bien fait pour l'époque, plein de renseignements précieux.

(1) P. 6

(2) Sur la planchette circulaire, voir : *Recherches sur les instruments, les méthodes et le dessin topographiques*, par le colonel A. Laussedat : t. I, Paris, Gauthier-Villars, 1898, pp. 84-88.

La planchette circulaire se composait d'un disque de bois ou de métal, gradué de 0° à 360°, muni d'une alidade à deux pinnules de visée, qui pivotait par son milieu autour du centre du disque. Le disque se plaçait sur un pied muni d'un genou, sur lequel on le calait dans la position convenable.

Le carré se composait essentiellement d'une planchette munie, à un des angles, d'une règle mobile, qui permettait de mesurer graphiquement la longueur des *ombres droites*, c'est-à-dire des tangentes, inférieures au rayon, et celle des *ombres verses* ou cotangentes. Ces longueurs étaient inscrites sur les bords du carré. De Jode dessine parfois déjà sur ses carrés un quart de cercle, comme Hulsius le fera plus tard.

Le quadrant était toujours muni d'un quart de cercle. De plus, la longueur des *ombres droites* et *verses* se lisait sur des perpendiculaires abaissées du milieu de l'arc sur les rayons passant par les extrémités. Le quadrant était muni d'un fil à plomb. Au fond, le quadrant ne diffère pas essentiellement du carré, qui, lui aussi, avait parfois un fil à plomb.

Le colonel Laussedat donne les dessins du carré et du cadran, respectivement, o. c., pp. 60 et 61.

(3) La description du carré, muni en fait d'un fil à plomb, et portant le dessin gravé d'un quart de cercle, fait l'objet du ch. III, pp. 3 et 4 ; celle du quadrant se trouve aux ch. XXII et XXIII, pp. 41-44 ; enfin, celle de la planchette est au ch. XXVII, pp. 48 et 49. L'alidade à pinnules de visée y est représentée tout à fait séparée du disque gradué.

si, comme je viens de le prouver, de Jode et Hulsius ont travaillé aux deux mêmes ouvrages. Quand le Gantois écrivait sa bibliographie, son collaborateur anversois était mort. La courtoisie n'exigeait plus qu'il fût nommé.

Reste un dernier point à éclaircir. Dans l'avis au lecteur du *De Quadrante Geometrico Libellus*, Corneille de Jode, qui signe cet avis, ne fait mention que d'un de ses collaborateurs : Martin Geet, professeur de Mathématiques et de Médecine à l'Université de Douai, personnage assez insignifiant d'ailleurs, qui a laissé peu de souvenir.

Quel fut son rôle ?

La lecture du contexte permet de le préciser sans trop de peine. Geet connaissait bien Rome. Il communiqua à de Jode des mesures et d'autres documents concernant Saint-Pierre, l'obélisque, les colonnes et les statues qui ornaient la Ville Éternelle. Le graveur anversois en profita pour donner de l'actualité aux vignettes qui transforment les figures du *De Quadrante Geometrico Libellus* en autant de petits tableaux animés.

En résumé, après avoir gravé les cuivres, en partie d'après les données de Geet, de Jode les montra à Hulsius en l'engageant à y ajouter le commentaire géométrique que chacun d'eux comportait. Le Gantois accepta et, de ce travail en commun, naquit le merveilleux petit *De Quadrante Geometrico Libellus*. Éditeur sans susceptibilité scientifique, Corneille de Jode suivait l'exemple paternel. Quand ils publient, Gérard et lui entendent faire une opération commerciale ; le reste leur importe moins. Ils ne mettent aucune fausse honte à se faire aider et à l'avouer.

Voici, avant de terminer, quelques renseignements d'un genre différent, qui jettent un jour nouveau sur Hulsius et peut-être aussi sur Corneille de Jode.

Doppelmayr (1) regarde comme une réédition de la *Theoria et praxis quadrantis geometrici* un petit volume donné par Hulsius, aussi en allemand, sous le titre de *Ocvlaris Et Radicalis Demonstratio Vsvs Qvadrantis*... Noribergae. Typis Christophori Lochneri. Anno M.D.XCVI. Sumptibus Autoris (2).

(1) *O. c.* p. 163.

(2) *Ocvlaris Et Radicalis Demonstratio Vsvs Qvadrantis Das ist Ein Augenscheinlicher vnd gründtlicher Bericht, vom gebrauch des gevierdten Geometrischen Instruments, alle höhe, weite, länge, vnd tieffe abzumessen. Mit zwey kunstreichen Kupffer stücken, vnd des Instruments abtruck, geziert, niemals also gründtlich demonstrirt, Sampt einem vnterricht der*

L'ouvrage est rare. J'en ai eu jadis en mains un exemplaire aujourd'hui détruit qui appartenait à l'Université de Louvain, et j'en connais un second au Musée Plantin à Anvers. La *Theoria et praxis quadrantis geometrici*, à en juger d'après le *De Quadrante Geometrico Libellus*, y a subi de grands remaniements. L'*Ocularis Et Radicalis Demonstratio Vsvs Quadrantis* eut-elle, comme l'édition précédente, une traduction latine ? Je n'en connais pas d'exemplaire et je ne le crois pas, car dans sa bibliographie Hulsius n'en donne le titre qu'en allemand (1). Mais, ce titre étant, comme on l'a vu, mi-latin, mi-allemand rend ambiguës certaines citations qui ont pu faire croire à l'existence d'une édition latine.

Quoi qu'il en soit, le *Tractatus Primus Instrumentorum Mechanicorum*, cité ci-dessus, est une refonte complète de L'*Ocularis Et Radicalis Demonstratio Vsus Quadrantis*. Il eut une édition allemande : *Erster Tractat Der Mechanischen Instrumenten Levini Hulsii* (2). L'auteur y donne une bibliographie un peu moins complète que dans l'édition latine, mais où il cite ses ouvrages précédents d'une manière qui mérite de fixer un instant notre attention (3).

« *Anno 1594* habe ich *Theoriam et praxim quadrati* den Gebrauch des *Quadrats* und gruntreissenden Instruments ausgehen lassen. So nicht mehr zu kauff gefunden wird....

« *Anno 1596* habe ich ein Augenscheinlischen Bericht von gevierten geometrischen Instruments an Tag gegeben. Nüremberg, 1596. So auch alle verkauft ».

Il faut remarquer l'insistance d'Hulsius à nous dire que les

gebrochenen specierum, vnd ausziehung der wurtzel, Radicis Quadrate, an tag geben, Durch Lev. Hvlsivm, Gall. ling. Noribergae L. M. Not. Imp. Noribergae. Typis Christophori Lochneri. Anno M.D.XCVI. Sumptibus Authoris.

Hulsius avait obtenu une licence qui lui permettait de dresser à Nuremberg les actes notariés rédigés en langue française. Il faut se rappeler cette circonstance pour comprendre les abréviations du titre dont il se prévaut.

(1) P. 7.

(2) *Erster Tractat Der Mechanischen Instrumenten Levini Hvlsii. Gründtlicher, Augenscheinticher Bericht dess neuen Geometrischen Gruntreissenden Instruments, Planimetra genandt, mit seinem Inductorio vnd Ramen. Sampt dess Quadrats vnd Quadrants auff dreyerley arth. Damit man mit sonderlichem Vortheit, ein streitig Landtschafft, ein Augenschein, Statt, Vestung, Läger oder jede Grundtfläche inss Vetdt absehen, auffs Papier reissen, vnd Aream oder die Grösse desselben finden kan. Item alle Höhe Weite Länge vnd Tieffe abzumessen, etc.* Mit. Röm. Kay. May Priuilegio. Francfurt. In Verlegung des Authorn M.DC.IIII. (Bibl. Roy. de Belgique).

(3) P. 10.

deux premières éditions de son ouvrage sont épuisées. Elle nous explique pourquoi elles sont aujourd'hui si rares ; mais, elle nous fait entrevoir surtout ce que chercha l'auteur en les publiant et à quel point de vue nous devons les lire.

Hulsius est un libraire-éditeur doublé d'un marchand d'appareils scientifiques. Ses multiples petites brochures sur les instruments mécaniques ont un but de réclame avoué. Le Gantois est un précurseur de nos grands constructeurs modernes. Comme plus tard ceux-ci le feront à son exemple, il écrit déjà des brochures-prospectus pour le monde savant. Il y fait valoir ses articles, en rappelant pour cela, même avec ampleur, les principes théoriques sur lesquels ils sont construits et d'après lesquels ils doivent être employés.

Ne serait-ce pas déjà vrai pour le *De Quadrante Geometrico Libellus ?*

Sans doute on n'y trouve pas encore cet avis final de l'*Ocularis Et Radicalis Demonstratio vsus Quadrantis :* « Und da jemands die vorgedachte Instrumenta von Messung, übergult oder nicht übergult, begerte, kan er solche bei mir zu Nürenberg erfragen und finden. Vale et fruere. »

On n'y trouve pas non plus cet autre avis qui termine le *Tractatus Primus Instrumentorum Mechanicorum :* « Quod si quis Instrumenta de quibus hactenus, vel alia quae in proaemio nominamus (1) desiderat (Hulsius annonce dans sa préface quinze petits traités sur divers instruments), is ea apud me Francofurti ad Moenum, tam extra quam in nundinis reperire poterit. »

(1) De ces quinze traités sept seulement furent publiés ; trois en latin et quatre en allemand. J'ai donné au long les titres du premier de chaque série. Voici celui des autres. Je les transcris de nouveau en entier, car ils nous apprennent quels sont les appareils expliqués dans chacun d'eux.

Ander Tractat Der Mechanischen Instrumenten Leuini Hulsii. Gründlicer vnterricht dess newen Büchsen Quadrants, wie derselbe, das grosse Geschütz, bey Tag oder bey Nacht zurichten, gebraucht sol werden. Item, dess gemeynen Massstabs die Kugelschwere zwerkennen, vnd dess Visierstabs, zu erfahren, wie viel Centner dass Rohr dess Geschützes wegt. Gedruckt zu Franckfurt am Mayn, durch Wolffgang Richtern, In Verlegung des Authorn. M. DC. III.

Tractatus Secundus Instrvmentorvm Mechanicorvm Levini Hvlsii Qvo Dilvcide Exponitvr Vsvs Bacvli, ac noui Quadrantis Tormentarii, quorum hoc Tormenta bellica, tam noctu quam interdiu diriguntur ; illo vero pondus globorum et pulueris tormentarii quantitas, quam requirunt, ostenduntur. Accedit denique vsus virgae visoriae ad illa ipsa tormenta visoran-

Mais, si la réclame commerciale se fait moins jour dans le *De Quadrante Geometrico Libellus*, elle s'y laisse déjà entrevoir. Le petit livre est écrit pour allécher le lecteur. Au point de vue théorique et scientifique, Hulsius piétine sur place ; mais sa

dum et pondera scaporum explorandum .... Francofvrti Ad Moenvm, Ex Officina Typogr Wolffgangi Richteri, Impensis Authoris M.DC.V.

Dans ce deuxième traité, on trouve de curieux détails sur les instruments employés pour le réglage du tir des bouches à feu.

Dritter Tractat Der Mechanischen Instrumenten Levini Hvlsii Beschreibung vnd Vnterricht dess Jobst Burgi Proportional-Circkels, dardurch mit sonderlichem vortheil ein jegliche Rechte oder Circkel Lini, alle fläche, Landcarten, augenscheinen, Vestungen, Gebäw, ein Kügel mit den fünff regularibus, auch alle irregularia corpora, etc. bequemlich können zertheilt, zerschnitten, verwandelt, vergrössert, vnd verjüngert werden. Niemals zvuorn in Truck geben. Mit Röm Kays May. Freyheit. Franckfurt am Mayn, in Verlegung Leuini Hulsii Wittib. M DC. VII.

Tractatus Tertius Instrvmentorvm Mechanicorvm Levini Hvlsii Qvo Traditvr Descriptio Atqve Vsvs Circini proportionalis Irsti Bvrgi, cuius beneficio linea recta, circularis, omnis superficies, Charta Geographica, figura arcis aut aedificii, globus cum quinque regularibus ac irregularibus corporibus, etc. compendiosè aptèq diuidi, secari, multiplicari, aut minui possunt, antehac nunquam visus..... Francofvrti Ad Moenvm, Ex Officina Typogr. Wolfgangi Richteri, impensis Authoris. M DC V Cum Priuilegio S. Caes Maiest

Vierdter Tractat Der Mechanischen Instrumenten Levini Hvlsii Gründtliche Beschreibung dess Diensthafften vnd Nutzbahrn Instruments Viatorii, oder Wegzählers, So zu Fuss, zu Pferdt vnd zu Gutzen gebraucht werden kan, damit mit geringer mühe zu wissen, wie weit man gegangen, geritten oder gefahren sey : alsauch zuerfahren ohne messen oder zehlen, wie weit von einem Orthzum andern. Dan even wird auch der grosse verborgene Wegweiser angezeigt vnd vermeldt. Gedruckt zu Franckfurt am Mayn, bey Wolffgang Richtern, In verlegung dess Authorn M.D.V. Cette date, évidemment erronée, doit être corrigée en M.DC.V.

Ces petites plaquettes se trouvent toutes à la Bibliothèque Royale de Belgique.

Certains exemplaires du *Vierdter Tractat* portent la date de 1615 avec l'adresse d'imprimeur : Franckfurt, bey Brasmo, Kempfern. In Verlegung des Authorn. (British Museum.)

Pour être complet, je dirai encore que le *Vierdter Tractat* n'est probablement que le remaniement d'un ouvrage plus ancien, dont le *Catalogue of printed books* du British Museum donne le titre comme suit :

Hulsius Levinus. Descriptio Viatorii, sive Compassus, cujus beneficio in quovis etiam incognito loco, ab uno vico aut urbe ad aliam, sine magna aberratione, per totam Germaniam, Italiam et alias vicinas regiones nocte dinque pervenire facile est. Norimbergae, 1597. 24°.

Enfin, A. Asher, dans la liste bibliographique qui termine son *Bibliographical Essay*, donne, sous le N° 9, p. 115 :

« *Descriptio et usus viatorii et horologii solaris* etc., 1597, 12°. Reprinted

plaquette a un caractère artistique on ne peut plus captivant. Dans de délicieux petits tableaux représentant les scènes les plus variées, le graveur multiplie indéfiniment l'emploi, au fond toujours le même, de ses instruments. Il veut évidemment émerveiller, plaire, encourager des distractions aussi délassantes et aussi instructives. Pour cela il faut posséder les instruments. Corneille de Jode n'en vendait-il pas, comme Hulsius, dans son comptoir de libraire ?

H. Bosmans, S. J.

II

PSYCHOPATHOLOGIE DE GUERRE

—

La guerre récente — champ d'expérience prodigieusement varié et monstrueusement exceptionnel — n'a point livré de faits absolument nouveaux en Pathologie mentale. Toutefois, il serait excessif de contester l'importance des renseignements d'ordre secondaire que recueillirent, soit dans la zone de combat, soit dans les centres neurologiques de l'arrière, les médecins psychiâtres. Telle est l'appréciation générale des témoins les plus compétents : « La multiplicité des engins et des procédés de guerre, leur aspect inusité et impressionnant, la puissance inédite de leurs moyens d'action, la durée des émotions et des fatigues, ont porté au plus haut point et jusqu'à l'exaspération, pour ainsi dire, le surmenage nerveux et les conditions favorables à l'éclosion des troubles mentaux. Il ne paraît pas, néanmoins, qu'il soit apparu un seul type réellement nouveau de psychose : on retrouve, en général, dans les armées, les formes morbides déjà constatées à la suite de tous les grands cataclysmes ; le nombre des belligérants et la durée de la guerre ont simplement

Francfort, 1613, 1632 ». Doppelmayr, *o. c.* p. 163, fournit le même renseignement.

Le *viatorium*, objet du *Vierdter Tractat*, est l'*Odomètre* ou appareil destiné à enregistrer automatiquement le nombre de pas effectués par un homme ou un cheval, ou bien aussi le nombre de tours de roue d'un chariot. Beckman s'est occupé des *Odomètres* de Hulsius dans ses *Beiträge zur Geschichte der Erfindungen* ; t. I, Leipzig, Paul Gotthelf Kummer, 1786. pp. 19-20 et t. II, id. 1788, pp 457-458.

apporté un coefficient numérique impressionnant, sans que l'analyse des psychiâtres les plus avertis ait pu constituer un syndrome mental spécifique, en quelque sorte, de cette grande tourmente, dans laquelle les épreuves les plus variées ont assailli la mentalité de nos combattants... Si la guerre n'a pas produit de psychoses absolument nouvelles, elle a néanmoins marqué son empreinte en créant une telle prédominance de certaines manifestations, qu'elle a révélé, en quelque sorte, des syndromes de coloration assez particulière pour paraître inédits à la masse des médecins que leurs études antérieures ont imparfaitement initiés aux difficultés de la clinique des maladies mentales » (1).

Nous nous proposons, dans ce court article, de signaler rapidement, à ceux de nos lecteurs qui s'intéressent aux choses de la psychologie, quelques espèces de troubles mentaux et nerveux — déjà connus précédemment — dont la guerre a enrichi la symptomatologie et précisé les causes prochaines.

LA GUERRE COMME FACTEUR ÉTIOLOGIQUE SECONDAIRE

Avant tout, gardons-nous d'imputer à la guerre des accidents qui se fussent tout aussi bien produits en dehors d'elle, mais dont elle fournit le théâtre matériel ou le cadre d'occasion.

Puisqu'il est notoire que les fous, demi-fous et moindres psychopathes ne sont point tous confinés dans les asiles ou les sanatoria, on ne doit point s'étonner de voir un certain nombre de ces méconnus aspirés, pour ainsi dire, vers les fronts, par le remous d'une mobilisation générale. Or, celle-ci n'a aucune vertu curative sur les psychoses non encore dépistées. Aux armées, le malade emporte avec lui le petit monde intérieur où s'enferme sa bizarrerie, et parfois réédite ses crises coutumières dans une étrange indifférence aux circonstances tragiques qui l'enveloppent : « Un mélancolique s'afflige et se désespère sur le champ de bataille, parce qu'il croit, à tort, qu'il est atteint d'une maladie grave et qu'il va mourir ; un persécuté raconte, avec indignation et terreur, les mauvais traitements que ses camarades lui font subir et les injures qu'ils lui adressent ; un alcoolique se sauve éperdument devant une meute de chiens hallucinatoires : ces malades s'inquiètent et se désolent sur la

(1) Préface du médecin-inspecteur Simonin à l'ouvrage de A. Porot et A. Hesnard : *Psychiâtrie de guerre. Étude clinique*. Paris, 1919, pp. 3-4.

ligne de feu, de la même manière et pour les mêmes raisons qu'ils pourraient le faire, à l'intérieur, et en dehors de la zone des armées » (1).

Le plus souvent, toutefois, l'affection mentale, indépendante de la guerre dans ses causes profondes, est « colorée » par elle dans son *contenu psychologique*.

Le regretté Gilbert Ballet rapporte le cas assez pittoresque d'un délirant non halluciné, dont la « folie d'interprétation » se mit à graviter autour des faits de guerre, avec d'ailleurs une étrange obstination à nier la réalité de celle-ci : « Léon a 45 ans. C'est un homme d'une intelligence moyenne, et qui n'est pas dépourvu de toute culture. Au commencement de la guerre, il a été mobilisé dans un régiment d'artillerie. Lors des premières manœuvres auxquelles il a pris part, il a été amené à se demander si ces manœuvres étaient sérieuses et si la guerre était une réalité. Il a résolu la question par la négative, s'est enfui et a été prévenu de désertion. Une expertise médico-légale a très justement conclu à un non-lieu, et Léon, qui est dans mon service depuis plusieurs mois, a toujours des doutes sur la réalité de la guerre ; au fond, il est convaincu, malgré les preuves hélas innombrables qu'on lui donne, qu'elle n'existe pas. Écoutons-le parler : Ce qui me paraît bizarre, dans cette guerre, c'est sa longueur. Jusqu'à présent il n'y a pas eu de manœuvre tout à fait sérieuse. La nature des opérations porte plutôt au doute. Il y a quelque chose qui se sent, mais qui ne peut pas s'exprimer. Dans les communiqués de journaux, je ne sens pas la guerre. Ce n'est pas la même chose quand on fait un dessin de chic ou d'après nature ; c'est cette différence que je sens très bien. — D. Comment alors vous expliquez-vous que tout le monde, tous les journaux, parlent de la guerre ? — R. Je dois me tromper, mais je ne sens pas qu'il y ait la guerre. Je lis M. Thiers, *Le Consulat et l'Empire*. Ça se sent ; tandis que la guerre présente je ne la sens pas. Je n'ai pas jusqu'à présent de fait qui m'ait convaincu... — D. Seriez-vous convaincu si l'on vous montrait une salle de blessés ? — R. J'ai vu, au Cherche-Midi, des prisonniers allemands ; j'ai pensé que c'était une plaisanterie. J'ai cru que tout cela se faisait pour des scènes cinématographiques. — D. Si vous étiez obligé de parier que la guerre a lieu ou non, comment parieriez-vous ? — R. Je m'abstiendrais :

(1) *Les Anxieux*, par les Drs A. Devaux et J. B. Logre. Chap. V. « L'anxiété de guerre », p. 287.

si j'étais tout à fait obligé de parier, je parierais contre la guerre » (1).

Un autre, simple soldat, écrit avec conviction au généralissime : « Mon général, Je ne suis pas fou : c'est par la voix de Dieu que je parle. Jeanne d'Arc, que j'ai vue en rêve, me dit d'aller vous trouver ; grâce à elle, j'ai su, trois mois avant la guerre, tout ce qui devait se passer, etc. » (2). Les antécédents du malade montraient déjà, dans ses préoccupations d'avant-guerre, le noyau premier de son délire actuel.

Il va sans dire que la vie même du militaire en campagne, avec le changement radical d'habitudes et la nécessité de réadaptations fréquentes qui en est la conséquence, avec de plus, chez les chefs, le sentiment angoissant de la responsabilité, et, chez tous, à certaines époques, le surmenage physique et émotif, n'offre que trop d'occasions, soit aux récidives d'accidents anciens, soit à l'explosion de désordres latents. Les cas où la guerre, sans créer l'espèce nosographique, fut cause partielle ou occasion déterminante de crises mentales, semblent de beaucoup les plus fréquents.

Nous n'entendons pas ici, en parlant de la guerre comme facteur étiologique partiel, certaines circonstances étrangères à la guerre comme telle, bien que souvent présentes en dépit des meilleures réglementations morales et hygiéniques. Par exemple, des alcooliques d'avant-guerre, malgré le rationnement officiel du « pinard », firent du « delirium tremens » pour des causes qu'il n'est point malaisé de deviner : « l'alcoolisme clandestin est bien difficile à empêcher complètement, même aux tranchées » (3). Des raisons analogues — infection spécifique prise au front même ou en permission — expliquent naturellement des « paralysies générales », écloses et développées au cours de la campagne : tel fut le cas de ce « jeune héros de Dixmude », dont parlent Porot et Hesnard, « qui, après de brillants états de service et deux ans de campagne glorieuse, sombra dans la délinquance pathologique » (4). Nous n'avons pas à traiter non plus des « psychoses infectieuses », plus ou moins

(1) *Soc. de Neurologie*, 3 juin 1915. Cité par G. Dumas, *Troubles mentaux et troubles nerveux de guerre*. Paris, 1919, pp. 13-14.

(2) G. Dumas, *op. cit.*, p. 19.

(3) Porot-Hesnard, *Psychiâtrie de guerre*, p. 28.

(4) *Op. cit.*, p. 270.

fréquentes à tel ou tel moment, ou sur tel ou tel théâtre de la guerre ; le paludisme du front oriental (Salonique), la fièvre typhoïde, le typhus exanthématique, la fièvre récurrente, la dysenterie, causes réelles de ces psychoses, ne constituent point des circonstances propres à la guerre comme telle.

Mais en dehors même de ces facteurs, accidentellement liés aux opérations militaires, celles-ci ont très souvent, par une action directe et fatale, aggravé des désordres préexistants et provoqué des crises aiguës.

« Un cas assez curieux, qui tient à la fois de la psychasthénie anxieuse avec conscience et de la dépression simple, est celui de F., lieutenant de territoriale. Il paraît bien avoir hérité de sa mère ce que les aliénistes appellent une constitution cyclothymique ; cette constitution s'est manifestée par plusieurs périodes d'excitation, et, finalement, par un accès de mélancolie dépressive qui a commencé en 1911... Il avait pris un long repos à la campagne et il était très amélioré mais non guéri, lorsqu'il fut appelé, au moment de la mobilisation, à servir comme lieutenant dans un bataillon territorial. Pendant deux mois, il put, tant bien que mal, remplir ses fonctions, mais vers le mois d'octobre, et sans doute à la suite de ses fatigues et de ses préoccupations nouvelles, son état s'aggrava soudain. Il devient triste, inquiet, anxieux ; il se représente des scènes de combat, et s'angoisse à se les représenter ; il se figure qu'il ne va pas pouvoir prendre une initiative, s'habiller, aller de l'avant, commander. Il prévoit les pires catastrophes et les pires sanctions ; il se voit déjà fusillé pour s'être montré incapable d'exercer son commandement.

» Puis c'est l'idée de la peur qui le poursuit ; bien que d'un naturel courageux, il craint de n'être pas assez brave ; il a peur d'avoir peur au moment du danger. Tous les soirs, il se couche après le dîner avec l'espoir de dormir un peu, mais il s'éveille brusquement, vers onze heures, avec les mêmes pensées terrifiantes et la même conviction qu'il sera impuissant à surmonter la peur dont il a honte... A la suite de ses angoisses et de ses craintes, dont il apprécie parfaitement le caractère morbide, le lieutenant F. a connu l'obsession de devenir fou, puis l'obsession du suicide, et c'est à sa femme qu'il a dû de ne pas succomber à cette dernière obsession.

» A l'hôpital où je le vois, il est en proie à de nouvelles craintes. Bien portant en apparence, il redoute l'appréciation des officiers malades ou blessés avec lesquels il vit. Souvent, pris

d'angoisse, il vient me demander un peu de réconfort : il me dit tous les efforts qu'il a faits pour se dominer, toute la bonne volonté qu'il a dépensée depuis trois mois, et dont je ne doute pas. Il ne peut être accusé de lâcheté et il a tout à fait le droit d'écrire comme il le fait : J'ai la conviction de ne pas être responsable de ma défaillance, puisqu'elle me fait horreur et puisqu'en la révélant à mon chef et aux médecins qui m'ont vu, j'espérais la faire cesser » (1).

Nous mentionnions tout à l'heure la « paralysie générale », avec son cortège de troubles psychologiques, parmi les affections qui peuvent naître à la suite d'aventures ne présentant qu'un rapport très indirect avec la vie de combats. On sait que la « paralysie générale », dans sa forme clinique authentique, est une affection « parasyphilitique », elle apparaît et se développe sous l'action de deux facteurs complémentaires : l'infection spécifique et certaines dispositions, encore inconnues, des centres nerveux. A plusieurs reprises, durant cette guerre, les médecins se demandèrent si le surmenage ou les traumatismes pouvaient exercer, chez des syphilitiques, une influence quelconque sur l'éclosion et le cours d'une paralysie générale.

Les données statistiques sembleraient indiquer une influence pratiquement nulle. En effet, la proportion des paralytiques généraux, aussi bien chez l'ennemi que dans l'armée française, fut toujours relativement faible. G. Dumas (2) en compte 43 sur 1188 malades qui passèrent par les services psychiâtriques d'un groupe d'armées, durant dix mois de l'année 1915. Soit 3,5 % contre une proportion de 15 % généralement observée dans les asiles en temps de paix. Du côté allemand, la proportion oscille entre 3 % (Hahn) et 6 % (Bönhoffer). La faiblesse de ce pourcentage s'explique sans doute par diverses causes étrangères à la question que nous traitons ici. Il reste toutefois, dit G. Dumas, que « l'on ne risque rien à formuler au moins cette conclusion négative, que les fatigues, les émotions et les surmenages divers de la guerre sont sans influence sur l'éclosion de cette affection » (3).

Reconnaissons que plusieurs médecins ne souscrivent pas une conclusion aussi carrément « négative » : et ceux-ci s'appuyent

(1) G. Dumas, *op. cit.*, pp. 34, 35, 36.
(2) *Op. cit.*, p. 5.
(3) *Loc. cit.*

de préférence sur des observations isolées, où semble s'accuser l'influence directe de la guerre. Mais cette influence a-t-elle provoqué le *début* de la paralysie, ou seulement brusqué le *développement* d'une paralysie déjà contractée, mais encore insidieusement latente? Probablement l'opinion de Porot et Hesnard, qui s'efforcent de totaliser l'expérience clinique des quatre années de guerre, représente-t-elle ici le juste milieu : aussi bien dans les paralysies générales survenues en dehors de tout traumatisme ou de toute commotion organique que dans celles qui succèdent à un traumatisme ou à une commotion organique, les circonstances créées par la guerre, si elles ne provoquent pas, à proprement parler, la maladie, y jouent du moins « un rôle le plus souvent *révélateur,* parfois *accélérateur,* enfin et plus rarement *aggravateur* (Dupré) » (1).

LA GUERRE COMME FACTEUR ÉTIOLOGIQUE PRINCIPAL

Nous allons maintenant passer en revue un certain nombre de troubles psychologiques — troubles mentaux et troubles psycho-moteurs — à l'origine desquels la guerre joua *le rôle étiologique principal.* Nous ne prétendons pas en épuiser l'inventaire, mais seulement signaler ceux qui attirèrent plus spécialement l'attention. Ils se rangent en une série échelonnée depuis les effets psychophysiologiques immédiats d'un traumatisme jusqu'à des accidents psychophysiologiques créés principalement par une cause psychique.

LÉSIONS CÉRÉBRALES

Nous n'avons pas sous la main une documentation comparative suffisante pour étayer une opinion personnelle en cette matière, où l'interprétation des symptômes est souvent fort délicate. Aussi nous bornerons-nous à quelques grands traits. Tout médecin qui aura suivi attentivement, avant la guerre, les controverses sur les aphasies et les apraxies comprendra notre réserve. D'ailleurs il serait malaisé d'entrer dans beaucoup de détails sans accompagner notre exposé de croquis et de schémas (2).

(1) *Op. cit.*, p. 271.

(2) Nous citerons à plusieurs reprises un bon exposé, très concis, de H. Wallon : *Lésions nerveuses et troubles psychiques de guerre. Revue géné-*

On doit distinguer, parmi les lésions cérébrales, les lésions nettement délimitées, creusées par le passage même d'un projectile ou par l'implantation d'esquilles détachées de la boîte crânienne, et les lésions en foyer, profondes et diffuses, dues à une altération locale des petits vaisseaux du cerveau. Les premières sont plus directement significatives, car elles peuvent (par exemple, dans le cas d'une perforation tangentielle des hémisphères) n'intéresser que la couche corticale, où la différenciation physiologique s'étale pour ainsi dire en surface, et réaliser ainsi des dissociations fonctionnelles extrêmement fines.

Zone rolandique

Le lecteur voudra bien se rappeler que les principales localisations motrices découvertes chez l'homme (mouvements du larynx, du pharynx, de la bouche, de la tête, du membre supérieur, du membre inférieur) se distribuent en échelons tout le long du bord antérieur de la *scissure de Rolando,* dans le territoire de la circonvolution appelée « frontale ascendante ». Parallèlement à celle-ci monte, en arrière de la scissure, la circonvolution « pariétale ascendante », dont les rapports fonctionnels avec la frontale apparaissaient assez étroits et un peu confus. L'observation des blessés de guerre, sans infirmer la topographie déjà reconnue des centres moteurs rolandiques, oppose décidément la fonction « motrice » de la frontale ascendante à la fonction « sensitive » de la pariétale ascendante. Voyons cela de plus près.

« *Limitées à l'écorce*, les plaies de la *Frontale ascendante* ont permis de vérifier sur l'homme le résultat des expériences faites sur l'animal pour déterminer les modes de groupement, la répartition, la signification des systèmes moteurs dont elle est le siège. Ils se décomposent dans chaque membre, segment de membre, article, en fonction des gestes susceptibles d'être exécutés volontairement. Ils s'échelonnent en hauteur, de telle sorte que le territoire répondant à la face se trouve nettement au-dessus de l'opercule rolandique, tandis que celui du membre

rale de Psychologie pathologique. JOURNAL DE PSYCHOLOGIE, 15 janvier 1920, pp. 69-78. Mentionnons encore, en dehors des mémoires spéciaux : Ch. Chatelin, *Blessures du cerveau. Formes cliniques.* Préface du Prof. Pierre Marie. 2e édit. COLLECTION HORIZON DES PRÉCIS DE MÉDECINE ET DE CHIRURGIE DE GUERRE, Paris, 1917.

inférieur atteint le lobule paracentral. Leur disparition par lésion toute superficielle de l'écorce ne supprime des mouvements que leur exécution volontaire, mais ne les empêche pas de se reproduire automatiquement, comme éléments d'actions plus complexes » (1).

Quel est le contre-coup de ces lésions corticales sur les réflexes ? On sait, qu'à prendre les choses en gros, il est vrai de dire que les centres supérieurs de l'axe cérébro-spinal exercent une influence constante d'inhibition ou de modération sur les centres réflexes situés à un niveau inférieur. Aussi la paralysie des centres cérébraux, ou l'interruption des voies cérébrales descendantes doit-elle, normalement, entraîner une exagération des réflexes médullaires (réflexes cutanés médullaires) ; une paralysie des seuls centres corticaux du télencéphale doit faciliter les réflexes mésencéphaliques, tels les réflexes tendineux (dont l'observation intervient si fréquemment dans le diagnostic des maladies nerveuses). Il sera curieux, plus tard, de connaître, sur ce sujet encore entouré d'obscurités, les résultats d'ensemble de la grande expérimentation réalisée par les blessures de guerre. En attendant, voici, d'après H. Wallon, la conclusion générale, nullement décisive, des travaux français : « La modification des réflexes (dans les traumatismes superficiels du cerveau) est variable : le cutané plantaire peut rester en flexion, se faire en extension, être aboli ; l'exagération des tendineux est habituellement modérée » (2).

Mais qu'advient-il lorsque la lésion, *plus profonde*, intéresse, outre le cortex, les fibres qui en descendent pour aller se grouper dans le faisceau pyramidal ? Ici, les effets sont exactement ce que l'on pouvait prévoir. Si le faisceau pyramidal est atteint au niveau de la couronne rayonnante, avant la concentration achevée de ses fibres, celles-ci ne seront pas toutes détruites : la paralysie résultante reste partielle, ou même peut être plus ou moins curable, grâce à des suppléances. Plus bas, le faisceau pyramidal étant déjà compact, sa lésion provoque l'hémiplégie complète et définitive. « En même temps (à mesure que la lésion se rapproche du mésencéphale) s'accentue le trouble des réflexes : exagération des tendineux, diminution ou abolition des cutanés abdominaux, signe de Babinski. Les mouvements choréo-athétosiques et l'ataxie, l'hyperesthésie douloureuse, les paresthésies,

(1) H. Wallon, *art. cit.*, p. 70.
(2) *Art. cit.*, p. 79.

les erreurs de localisation, la perte des sensibilités osseuse, articulaire, segmentaire, l'astéréognosie indiquent l'atteinte concomitante du mésencéphale et particulièrement du thalamus » (1).

Voilà pour la frontale ascendante. Dans la *pariétale ascendante*, territoire sensitif, les lésions provoquent des troubles de la perception, qui font le pendant des troubles moteurs déterminés par les destructions de la frontale ascendante. Dans cette dernière circonvolution, les localisations motrices corticales ne commandent point — séparément — autant de contractions musculaires isolées, mais bien des combinaisons déjà complexes de mouvements élémentaires. De même, dans la pariétale, les lésions superficielles n'abolissent pas, d'ordinaire, les sensibilités élémentaires (tactile, douloureuse, thermique), mais bien la mise en œuvre de ces sensibilités par association, différenciation, comparaison. On signale, par exemple, de l'impuissance de discrimination tactile, et de l'astéréognosie (suppression de la perception du relief). Chose remarquable, ces accidents psychiques, telle l'astéréognosie, ne présentent point, à la suite de simples lésions corticales, l'inéluctable fixité à laquelle on devrait s'attendre si la zone rolandique constituait un vrai « centre de projection » de territoires sensoriels et musculaires périphériques. Le trouble physique, en effet, « se modifie selon le degré de l'attention et les états de fatigue intellectuelle » (2). Et cette astéréognosie oscillante tranche nettement sur une autre astéréognosie, invariable celle-ci, qui résulte de lésions plus profondes intéressant le *thalamus*.

Des observations de ce genre tendent à confirmer des vues exprimées à plusieurs reprises, bien avant la guerre, à savoir que les centres corticaux des hémisphères, même dans les zones dites de « projection », sont déjà des instruments de combinaison ou de commande supérieure, tenant sous leur dépendance soit les centres proprement « moteurs » (origine prochaine des voies efférentes), exclusivement bulbo-médullaires, soit les centres proprement sensitifs (aboutissants prochains des voies afférentes) échelonnés dans les noyaux gris sous-jacents à l'écorce cérébrale. Pour les centres de l'écorce elle-même, il est vraiment difficile d'y marquer une séparation radicale entre la fonction motrice et la fonction sensitive. Les étiquettes « centre sensitif » et « centre moteur » ne conviennent à la couche corticale que par

(1) *Art. cit.*, ibid.
(2) *Op. cit.*, p. 71.

allusion à l'effet global des lésions qui y furent observées, et non pour désigner un mode propre d'activité de l'écorce.

Cette conclusion, suggérée déjà par l'étude de la région rolandique, sortirait corroborée de l'examen d'*autres territoires cérébraux*.

Hémisphère gauche

L'*hémisphère gauche* présente sur sa face externe, depuis le fameux « centre de Broca » jusqu'aux lobes occipitaux, de vastes plages dont la destruction s'accompagne des troubles du langage désignés sous le nom générique d' « aphasies ». Dans l'ensemble, il ne nous paraît pas que les faits de guerre contraignent de modifier les localisations précédemment admises. Nous avons sous les yeux, en écrivant ces lignes, des schémas topographiques de l'hémisphère gauche, dressés par H. Liepmann en 1909. Ils serviraient aisément à grouper les observations plus récentes. En avant du *gyrus supramarginalis* (bordure d'angle de la scissure de Sylvius), les troubles du langage apparaissent plus particulièrement moteurs ; dans la région même du *gyrus* et plus en arrière, les troubles d'origine sensitive prédominent : l'aphasie devient nettement idéo-motrice ; au delà du *gyrus supramarginalis,* vers le bas, la lésion des circonvolutions temporales introduit, dans le tableau de l'aphasie, le symptôme auditif (surdité verbale) ; plus loin encore, vers le *pli courbe* (région occipitale), l'aphasie n'existe que dans la mesure où elle peut être conditionnée par la perte de la représentation visuelle des mots (« alexie », amnésie optique des mots, accompagnée d' « agraphie », au moins partielle, par défaut de schèmes visuels).

Cette répartition générale n'offre rien de bien nouveau. Et il en va de même de la localisation des « apraxies ».

Néanmoins la guerre a permis, ici comme pour les autres parties de l'encéphale, de mieux distinguer entre les effets des lésions superficielles, n'intéressant que l'écorce, et les effets de blessures plus pénétrantes ou de lésions en foyer gagnant plus ou moins profondément les faisceaux de la substance blanche. Les premières, même dans la zone dite « motrice », n'entraînent qu'une aphasie transitoire, laquelle, à en juger par les étapes de la restauration graduelle du langage, porte principalement d'une part sur l'articulation de mots compliqués, et d'autre part sur les usages de la parole plus directement dépendants de la pensée abstraite, ou, si l'on veut, plus indépendants

du pur automatisme. Nous citerons une fois encore le résumé de H. Wallon : « Des lésions limitées à l'écorce provoquent une aphasie de quelques jours seulement, avec séquelles d'apparence surtout intellectuelle : durant quelques mois, le blessé conserve l'impression de parler avec effort, de comprendre difficilement les notions abstraites et les mots techniques ; il ne retrouve pas à volonté les noms propres ; il a la mémoire et l'idéation lentes ; il peine à mettre sa pensée en phrases, n'arrive pas à se rappeler le sens d'une lecture qu'il achève à peine, ne sait plus calculer couramment, se fatigue vite. Il présente souvent de la dysarthrie sur les mots difficiles et commet, en lisant, des substitutions de vocables que le sens ne justifie pas » (1).

Au contraire, les lésions profondes déterminent des aphasies « globales et tenaces ».

Lobes occipitaux

Nous avons dit plus haut qu'une aphasie limitée, accompagnée d'alexie, était consécutive à la lésion du « pli courbe » : dans cette région, contiguë aux centres projectifs visuels, nul ne s'étonnera de voir souvent l'hémianopsie (perte de la vision dans une moitié de chaque rétine) entrer en scène à côté de l'alexie. On trouve, dans tous les bons Traités de physiologie, le schéma des connexions nerveuses reliant les deux rétines aux *lobes occipitaux :* on pourrait en déduire à priori les formes diverses des accidents réellement observés, pendant la guerre, à la suite de lésions de ces lobes. Il est donc superflu d'entrer ici dans plus de détails. Parmi les acquisitions récentes de la physiologie topographique de cette région, nous signalerons seulement une délimitation plus précise de la « zone projective visuelle » (P. Marie et Chatelin, 1915).

Mais les lobes occipitaux suggèrent à leur tour une remarque générale déjà faite précédemment. La lésion *profonde* de ces lobes détermine la cécité complète et définitive pour les plages rétiniennes correspondantes. *Plus superficielle*, la lésion peut laisser subsister quelque chose de la vision, mais avec des troubles associatifs se traduisant par de l'astéréopsie ou de l'achromatopsie (perte du discernement des couleurs, ce qui n'implique pas nécessairement la perte de la sensation colorée brute). Souvent d'ailleurs, lorsque la lésion n'est pas trop pro-

(1) *Art. cit.*, p. 74.

fonde, l'hémianopsie est curable, bien que la perte de substance cérébrale reste définitive. On notera avec intérêt les étapes de cette restitution de la vision pleine : « Sous sa forme la plus grave, l'anopsie corticale consiste dans la dissociation des perceptions primaires ; l'ordre de réapparition en est fixé : la première à revenir est nécessairement la sensibilité à la lumière, condition de toutes les autres ; puis il arrive qu'un mouvement s'effectuant dans le champ visuel est remarqué, alors qu'un objet immobile reste ignoré ; par degrés sont ensuite reconnues la présence, la forme et la couleur de l'objet ; à l'échelon suivant reparaît l'aptitude à le localiser ; un progrès de plus et le malade en apprécie les proportions, l'éloignement par rapport à d'autres ; puis il parvient à distinguer un disque plat d'une sphère ; enfin l'anopsie ne consiste plus que dans l'irrégularité des réponses provoquées par les excitations lumineuses. Ainsi que pour les troubles de la sensibilité, c'est le signe le plus certain, selon Head et Holmes, d'une lésion corticale » (1).

Des observations comme celle-ci, jointes à celles que nous signalâmes plus haut, n'invitent-elles pas à beaucoup assouplir la notion physiologique du « centre de projection », et à reviser pas mal de préjugés courants sur la fonction de l'écorce cérébrale ? En tous cas, elles achèvent de condamner, nous semble-t-il, l'hypothèse — dès longtemps inintelligible — d'une localisation par emmagasinement de miniatures, nous voulons dire : par impression, point par point, de sensations ou d'images dans les cellules de l'écorce cérébrale.

Lobes frontaux

Avant la guerre, le dogme de la localisation exclusive des « fonctions intellectuelles » dans les *lobes frontaux* avait subi déjà de fortes atteintes. Les faits de guerre en consomment la ruine. Non pas que les lobes frontaux cessent d'apparaître dans un rapport particulier avec l'exercice de l'intelligence : cette relation privilégiée n'est pas contestable ; mais du moins ne peuvent-ils plus passer pour l'instrument indispensable du psychisme supérieur.

Nous indiquerons d'abord un ou deux cas plus voyants (2).

(1) H. Wallon, *art. cit.*, pp. 73-74.

(2) Nous en empruntons la citation à un articulet suggestif de M. R. Troude : *Cerveau et Pensée*. Les enseignements de la pathologie de guerre. REVUE SCIENT., 26 juin 1920, pp. 359-363.

« G., soldat au 25e de ligne, blessé le 11 juillet 1914 au cours d'un exercice de tir au polygone, a reçu à 150 mètres une balle Lebel, qui a littéralement labouré le front de droite à gauche. La perte de connaissance a été immédiate et absolue. Vu deux heures après l'accident, en état de torpeur profonde, il répond vaguement pendant qu'on l'interroge. Pas de troubles de la motilité. Le pouls est plein et régulier. — L'exploration est pratiquée séance tenante : toute la région frontale oculaire disparaît sous un énorme champignon, gros comme un demi-poing, constitué par une salade de caillots, de substance cérébrale et d'esquilles. Le foyer de bouillie cérébrale s'étend presque à longueur de doigt dans chaque lobe frontal... -- Suites particulièrement remarquables par leur bénignité. L'état général est devenu rapidement satisfaisant... A part une lacune absolue et persistante de la mémoire, portant sur les trois semaines qui ont suivi la blessure, l'état psychique est resté intact » (1).

Un soldat italien, examiné par M. Foa, présente « une blessure par éclat d'obus au niveau de la bosse frontale droite ; fracture ; le lobe frontal droit est réduit en bouillie. Ni le traumatisme, ni la destruction du lobe préfrontal n'exercèrent aucune influence sur le caractère ni sur les qualités psychiques, morales et intellectuelles du sujet. Par contre, les réflexes cutanés présentaient une exagération considérable du côté de la lésion » (2).

Beaucoup d'observations analogues furent publiées. On peut regretter qu'elles n'offrent pas toujours une analyse des symptômes assez détaillée pour permettre une discussion théorique.

Il faut ajouter cependant qu'après de larges pertes de substance cérébrale, la guérison totale n'est pas la règle. M. Lapeyre a observé deux guérisons complètes sur 40 cas : « La *restitutio ad integrum*, écrit-il en 1917 (3), est assez rare dans les plaies pénétrantes du crâne, mais il faut avouer que souvent, quand les lésions cérébrales siègent en dehors de la zone rolandique, les troubles qui persistent sont légers et compatibles avec une vie active. Il est intéressant de noter la bénignité relative des blessures du lobe frontal ». « Des pertes de substance considérables (aux dépens des lobes frontaux), affirme M. H. Wallon

(1) Observation des Drs Couteaud et Bellot, BULLETIN DE LA SOC. CHIRURG. Paris, 1915.

(2) C. Foa, ARCH. ITAL. DE BIOL., tome 66, fasc. 1. Cf. R. Troude, *art. cit.*, p. 360.

(3) BULLETIN SOC. CHIR. Paris. Cf. *art. cité*.

dans la REVUE GÉNÉRALE déjà citée (1920), peuvent ne pas entraîner de troubles apparents ; et quand il s'en produit, c'est par l'effet de lésions profondes, qui interrompent les faisceaux de fibres à destination ou provenant de toute ou presque toute l'écorce frontale. »

Lorsque l'on compare les troubles psychiques, plus ou moins bénins, provoqués par une lésion des lobes frontaux, avec les troubles psychiques généraux qui accompagnent, dans d'autres régions cérébrales, largement traumatisées, les symptômes plus particuliers à ces régions — troubles qui, souvent, persistent à l'état de séquelles — on est frappé de la ressemblance des uns et des autres, au point de se demander si la fonction psychique propre de la zone frontale n'est pas identique à la fonction psychique qui s'exerce en d'autres territoires cérébraux.

En effet, dans les destructions frontales (si nous faisons abstraction de deux syndromes parfois observés : certaines réactions sur le cervelet, et l'abolition de la perception objective de l'espace), quel est le tableau ordinaire des troubles psychologiques consécutifs à la lésion ? Alors même que la mémoire est conservée, « il y a torpeur intellectuelle, lenteur de l'idéation, impressionnabilité, et surtout une docilité, une absence totale de réaction personnelle et d'initiative, une inaptitude à l'innovation et à l'invention, souvent aussi une sorte d'aboulie essentielle, qui interdisent radicalement tout effort vers les idées ou les solutions les mieux appropriées aux circonstances et n'autorisent que l'usage automatique de formules stéréotypées » (1).

A vrai dire, les derniers traits du tableau nous paraîtraient un peu trop poussés au noir, s'ils prétendaient exprimer le pronostic fatal de lésions même extrêmement graves. Mais cette réserve n'importe guère ici. L'ensemble du tableau rappelle singulièrement les symptômes psychiques, concomitants et résiduels, décrits à propos d'autres régions cérébrales.

Voici, par exemple, l'observation d'un lieutenant d'infanterie, blessé en Serbie, le 13 nov. 1915 (2) : « Plaie par éclat d'obus médio-sagittale, un peu latéralisée à gauche. Vaste foyer de fracture du pariétal, issue de matière cérébrale. La radiographie montre un éclat d'obus situé à trois centimètres du cortex, dans l'hémisphère droit. Paraplégie, hémiplégie droite complète...» L'intervention chirurgicale amène une légère amélioration.

(1) H. Wallon, *art. cit.*, p. 78.
(2) Note du Dr Vandenbosche, cité par R. Troude.

Deux ans plus tard, en 1917, le blessé, guéri, donne de ses nouvelles : « ... Je n'ai pas eu le moindre trouble nerveux, pas d'épilepsie, pas de maux de tête, pas de souffrances... La cicatrice s'est très bien faite... Je dois vous signaler que mon cerveau *n'a plus la même puissance* qu'avant ma blessure : je suis aussi *plus irritable,* mais cela a tendance à se passer ».

La même diminution intellectuelle est signalée, d'une manière générale, parmi les « symptômes résiduels » propres aux trépanés et aux blessés des diverses régions du crâne ; il se pose ici un problème d'étiologie qui peut, dans plusieurs cas tout au moins, avoir rapport aux localisations corticales : « Les neurologistes, et particulièrement l'école de P. Marie, ont insisté sur la presque constance, chez les blessés du crâne, même chez les petits blessés, d'un *syndrome* commun, presque entièrement *subjectif,* mais qui s'accompagne d'une réelle diminution de la capacité militaire. Chez ces sujets, en plus des troubles mentionnés plus haut, auxquels il faut ajouter de l'insomnie avec cauchemars et des troubles vaso-moteurs..., on observe fréquemment de petits symptômes mentaux. Le malade conserve un certain degré d'amnésie de fixation, et surtout une impuissance notable à l'effort intellectuel et au travail mental professionnel. De plus, son caractère est changé : il s'inquiète d'un rien, a de l'angoisse ou s'attendrit à la moindre émotion, devient irritable, s'emporte pour des choses futiles, etc... A un degré de plus, la psychasthénie résiduelle des blessés crâniens se complique de symptômes objectifs du fonctionnement psychique. Dans la sphère intellectuelle et volontaire, on observe, en dehors des troubles mnésiques de tout ordre et de tout degré, une aboulie particulière qui consiste en une incapacité douloureuse de fixer l'attention, pouvant aller jusqu'à une diminution de toute l'activité psychique volontaire. Le malade n'est plus capable de combiner, de prévoir, de réaliser ses plans, de conclure ses affaires ; son rendement pratique est notablement diminué ; il n'est plus apte qu'à des besognes simples, routinières et brèves. Dans la sphère affective, on observe un appauvrissement des fonctions imaginatives et toute la gamme des états hyperémotifs que nous avons déjà décrits à plusieurs reprises... » (1). Il y a certes, dans ces troubles résiduels, autre chose que l'expression directe d'une impuissance organique du cerveau : nous dirons plus tard quels accidents compliqués le

(1) Porot et Hesnard, *Psychiâtrie de guerre*, pp. 193-194.

psychisme supérieur peut élaborer sur une base physique assez mince. Malgré tout, ces séquelles psychologiques, quelle qu'en soit la cause immédiate, sont du même ordre que le « syndrome psychique » général qui accompagne les lésions de l'écorce et qui constitue aussi à peu près le seul symptôme livré par la destruction des lobes frontaux.

Avant d'abandonner ce sujet, qu'on nous permette de citer quelques lignes du Dr Mignard, qui présente, dans les ANNALES MÉDICO-PATHOLOGIQUES de 1918, un essai d'interprétation des données expérimentales que nous venons de rappeler : « L'observateur est d'abord frappé, devant la plupart des blessés du cerveau, par l'intégrité relative de leurs fonctions psychiques. Les 258 blessures crâniennes observées au centre neurologique de Montpellier, au moment où ces notes ont été prises, n'avaient pas nécessité, à notre connaissance, de la part des médecins du centre, une seule demande d'internement... Nous n'avons jamais observé la disparition, l'affaiblissement ou le trouble particulier de telle ou telle fonction mentale en rapport avec la lésion spéciale de telle région du cerveau. Le psychisme supérieur n'est nullement analysé par les diverses déficiences de la matière cérébrale que nous permet de supposer la région crânienne abordée. Il ne semble même pas possible de lui assigner dans l'ensemble un organe déterminé, tel que les lobes frontaux, par exemple. C'est seulement dans ses manifestations inférieures subconscientes, involontaires, émotionnelles, que le psychisme paraît quelquefois influencé par le siège de la lésion. Encore, est-ce d'une manière inconstante... Pour le reste, le *syndrome psychique* qui se révèle dans les diverses lésions du cerveau affecte une remarquable unité. Abstraction faite des cas où l'on peut admettre l'évolution d'une méningo-encéphalite diffuse, on remarque le plus souvent un état d'inactivité, de torpeur, de paresse plus ou moins accusée, dans lequel les fonctions psychiques, sans être supprimées ni même gravement altérées, se trouvent ralenties, entravées dans l'exercice de leur activité. C'est une sorte d'engourdissement de toutes les facultés. Le sujet éprouve les plus grandes difficultés à les exercer, il n'arrive pas à maintenir un effort intellectuel de quelque valeur... Cet homme pourra tout entreprendre, il ne pourra rien continuer » (1). Le

(1) Cf. *Article cité* de R. Troude, pp. 359 et 361.

« syndrome psychique atopique », que décrit ici le Dr Mignard, peut d'ailleurs exister à tous les degrés et passer même inaperçu.

Décidément la psychopathologie récente du cerveau, si elle confirme la localisation stricte des grandes voies de conduction afférente et efférente, ainsi que la délimitation des centres réflexes échelonnés entre l'écorce cérébrale et l'extrémité inférieure de la moelle épinière, semble, par contre, de plus en plus empêchée d'enchaîner les fonctions psychiques supérieures à un territoire quelconque de l'écorce cérébrale. Nous n'avons pas à insister ici sur les problèmes difficiles que fait entrevoir cette constatation générale. Disons seulement, qu'à notre sentiment, certains auteurs se hâtent peut-être trop vers les solutions théoriques de problèmes encore insuffisamment formulés.

II. TROUBLES PSYCHOPHYSIOLOGIQUES COMMOTIONNELS ET ÉMOTIONNELS

Les accidents dont nous allons parler surviennent le plus souvent en l'absence de toute plaie extérieure du cerveau, ou même en dehors de toute blessure apparente. D'autre part, on ne saurait les exclure à priori du tableau psychopathique des grands blessés du crâne, puisqu'un soldat, atteint à la tête par un éclat d'obus, a subi une commotion organique générale, et peut avoir éprouvé un choc émotionnel, causés par l'explosion de l'engin : au désordre directement dépendant de la lésion cérébrale, se joindraient alors des symptômes imputables à la commotion ou à l'émotion.

Il est vrai que, de l'avis de beaucoup de médecins, la blessure même, et l'hémorragie, font un excellent dérivatif aux contre-coups intracérébraux de la commotion et de l'émotion brusque. Ce rôle de soupape d'échappement se conçoit, jusqu'à un certain point, dans les blessures perforantes de la boîte crânienne, ou dans celles qui amènent immédiatement une perte de connaissance. Toutefois, le fait de la fonction protectrice d'une blessure est contesté, du moins dans sa généralité, sur la foi de statistiques. Par exemple, le Dr G. Dumas, enquêtant sur le sort des soldats « projetés, ensevelis ou physiquement ébranlés » par des éclatements d'obus, trouve, parmi les non-blessés, environ 10 % de sujets atteints des troubles psychiques caractéristiques de la commotion ou de l'émotion-choc, et, parmi les blessés recueillis dans les hôpitaux, 8 à 8,5 % de sujets présentant les mêmes symptômes. La différence des deux proportions est si

minime qu'on ne saurait tabler sur elle pour affirmer une immunité spéciale des blessés au regard des autres victimes d'explosions (1).

1. *Contusions.* — H. Wallon expose la nature de certaines lésions des centres nerveux, intermédiaires entre les plaies directes du cerveau et les simples commotions dont il sera question plus loin : « La contusion, dit-il, est le résultat d'un choc directement appliqué sur le corps. L'ensevelissement sous les décombres de tranchées ou d'abris en a été la cause fréquente. La chute sur la tête, la nuque ou le dos, de l'homme projeté par la déflagration de l'explosif en est une autre. L'air enfin, sous l'impulsion formidable des gaz, qui peuvent atteindre instantanément jusqu'à 27 000 fois le volume de l'explosif, et développer une pression de 35 000 kgr. par centimètre carré, se déplace d'un seul bloc, avec une telle violence qu'il est capable d'exercer l'action destructive et percutante d'un corps solide. Une hémorragie massive, comme il en a été fréquemment observé dans le cerveau ou dans la moelle, se produit au point d'application du choc. Parfois même à distance : Duret a montré comment un traumatisme de la voûte crânienne fait un cône de dépression que reproduit la masse cérébrale ; mais la base, soutenue par le rachis, résiste, et la poussée confluant sur le liquide céphalo-rachidien, le chasse des interstices et des ventricules dans l'aqueduc de Sylvius et contre les organes qui enferment le quatrième ventricule. D'où, suivant Léri, la fréquence de troubles mésencéphaliques et bulbaires » (2).

La contusion, qui correspond à ce que l'on appelait généralement, avant la guerre, la « commotion cérébrale », peut évidemment offrir tous les degrés de gravité. Et les symptômes sont à proportion. Dans les cas graves, le coma, ou les signes caractéristiques de lésions en foyer (par hémorragie intracérébrale). Dans les cas bénins, la perte de connaissance, qui dure de quelques instants à quelques heures, puis un peu de somnolence, de torpeur, et des malaises physiques passagers. Dans les cas intermédiaires, des troubles légers des réflexes et de la sensibilité, dus soit à l'hypertension du liquide céphalo-rachidien, soit à de minimes hémorragies dans les centres cérébro-médullaires. Ces dernières conséquences ont quelque intérêt pour la

(1) G. Dumas, *op. cit.*, p. 186.
(2) *Art. cité*, p. 79.

suite de notre exposé, car elles peuvent devenir le point de départ organique de symptômes persistants, entretenus par des causes d'ordre exclusivement psychique.

2. *Commotions.* — La commotion proprement dite, ou mieux, selon l'expression de Dumas, la « commotion générale » (pour l'opposer à la « commotion cérébrale ») n'est pas la conséquence d'un choc direct ou indirect sur le crâne, mais « d'un traumatisme global qui atteint l'organisme tout entier et le système nerveux par les voies les plus différentes. Les sujets, dans le voisinage immédiat desquels l'explosion se produit, ne sont pas nécessairement soulevés ou projetés à distance ni frappés par des matériaux ; quelques-uns restent même dans la position où l'explosion les surprend, accroupis, agenouillés, couchés, s'ils peuvent garder cette position sans un effort de volonté ; d'autres sont renversés sur place ou roulés par l'air violemment refoulé. Le choc aérien (1) exerce une pression violente et brusque sur les organes sensoriels, notamment sur ceux de la vue, de l'ouïe et de l'équilibre, sur la surface de la peau et sur les organes diffus de la sensibilité cutanée ; à travers la paroi abdominale sur les viscères et sur les nerfs de la sensibilité viscérale, notamment sur les nerfs des plexus soléaire et hypogastrique. En comprimant la paroi abdominale, il augmente subitement la pression dans tous les réseaux vasculaires internes, y compris les réseaux cérébraux et médullaires, etc. » (2).

Cette description sommaire permet déjà de distinguer deux catégories d'effets de la commotion : un *ébranlement* direct des organes nerveux de la sensibilité interne et externe, ainsi que des centres nerveux ; puis, des *hémorragies* cérébrales et médullaires, qui se produiront de préférence dans les segments d'artérioles insuffisamment protégés contre les dilatations brusques, par exemple, « à la surface des méninges, dans la partie flottante des racines rachidiennes, et dans les régions des centres nerveux où le manchon lymphatique des vaisseaux est le plus large et le plus lâche ». On a fait remarquer avec raison à quel point ces accidents hémorragiques dépendent des causes multiples — physiques et psychiques — qui commandent l'état de la tension sanguine au moment de l'explosion.

Le premier effet immédiat de la commotion, l'ébranlement

(1) Non plus la projection massive de l'air, faisant pour ainsi dire projectile, mais les ondes successives produites par la déflagration.

(2) G. Dumas, *op. cit.*, p. 45.

mécanique des centres nerveux et des terminaisons nerveuses périphériques, se traduit par une perte de connaissance et par des altérations sensorielles qui peuvent s'amender après quelques instants, mais aussi durer plusieurs jours. Le retour à la conscience fait apparaître les conséquences, masquées jusqu'alors, du second effet immédiat de la commotion, c'est-à-dire les conséquences des hémorragies. Ce sont, en général, des troubles des réflexes, des insuffisances de coordination motrice, des vertiges, des tremblements et agitations, de l'inégalité pupillaire et de la mydriase ; puis des accidents circulatoires par dérèglement de la fonction vaso-motrice et sans doute aussi par insuffisance fonctionnelle de certaines glandes endocrines ; enfin des troubles psychiques caractéristiques d'un désordre trophique et toxique atteignant les centres nerveux, nous voulons dire les troubles variés ressortissant au syndrome de la *confusion mentale* accompagnée de délire onirique. Nous reviendrons plus loin sur ce dernier syndrome, assez important pour l'interprétation d'accidents ultérieurs.

3. *Émotion-choc ou surtension émotionnelle.* — « Si l'on considère, dans l'éclatement de l'obus, non pas l'effet organique de l'explosion, mais l'émotion très intense qui résulte de cette explosion, et, d'une façon générale, si on considère les effets des émotions violentes liées à des spectacles d'épouvante ou d'horreur, on se trouve en présence d'un troisième syndrome, que nous avons proposé, avec le Dr Delmas, d'appeler *raptus* émotif. Ce syndrome se caractérise, non seulement par un désordre émotionnel où la terreur domine, mais encore par une période d'obnubilation psychique au cours de laquelle le sujet exécute des mouvements de fuite désordonnés. Lorsque le sujet est cloué sur place par l'émotion, le terme d'*ictus* émotif, proposé par Dupré, conviendrait mieux que celui de raptus. Il y aurait ainsi un *raptus*, caractérisé surtout par des phénomènes d'excitation et un *ictus* caractérisé surtout par des phénomènes d'inhibition » (1). L'émotion-choc n'est donc pas nécessairement provoquée par un brusque ébranlement physique. Pour la produire, il suffira souvent de l'impression forte du danger imminent, ou de la vue d'une scène particulièrement horrible. Bien plus, il arrive qu'un combattant, sorti indemne des circonstances les plus tragiques, sans accident mental apparent, ait accumulé

(1) G. Dumas, *op. cit*, p. 47.

pour ainsi dire de la tension émotive et succombe à une émotion en soi insignifiante, ou même à un simple cauchemar, pendant le sommeil.

La fugue des émotionnés paraîtra quelque peu suspecte, car elle tend d'ordinaire à les mettre à l'abri du danger : cette réaction instinctive est bien naturelle ; mais il n'en va pas toujours ainsi : parfois, dans son égarement, le sujet s'expose davantage ou fuit absolument au hasard, ce qui empêche, de prime abord, de le confondre avec le poltron simulateur.

A ces premières manifestations (*raptus* ou *ictus* émotifs), par lesquelles se décharge l'émotion intense, succède, après quelques heures ou quelques jours, chez les émotionnés qui n'ont point subi en même temps une forte commotion organique, un état de *confusion mentale* et de délire onirique. Dans la commotion, la confusion mentale s'établit instantanément, par l'effet de l'ébranlement mécanique, et se prolonge sans doute par suite d'altérations chimiques des centres. Dans l'émotion, il existe toujours, avant l'apparition des accidents confusionnels, un *temps de latence* assez remarquable. « On a le droit de penser que c'est pendant ce temps de latence que se constitue l'état toxique qui, nous le verrons, paraît lié aux perturbations vaso-motrices et sécrétoires et à l'épuisement cérébral provoqué par l'émotion »(1). L'*intoxication des centres nerveux* semble le facteur immédiat de la confusion et du délire. Ceci ne doit point étonner, puisque l'on connaît depuis longtemps le rapport étroit qui existe entre l'émotion et le métabolisme général. On peut dire littéralement que l'émotion est « toxique ». Porot et Hesnard le rappellent, en parlant du surmenage émotif comme facteur étiologique en psychiâtrie de guerre : « La pathologie mentale générale moderne admet... que le développement de certains troubles neuro-psychiques est subordonné aux lois, encore mal connues mais certaines, du mécanisme humoral, et l'on sait aujourd'hui combien la vie affective et le jeu de la mécanique émotive agissent profondément sur l'intensité physiologique de la vie tissulaire » (2).

Les trois causes d'accidents neuro-psychiques que nous venons d'énumérer peuvent se trouver additionnées chez un même sujet, et alors masquer partiellement les effets les unes

(1) G. Dumas, *op. cit.*, p. 66.
(2) Porot-Hesnard, *op. cit.*, p. 46.

des autres ; elles peuvent aussi, et le cas est fréquent, se rencontrer isolées, en ce sens du moins que l'émotion survienne sans commotion et celle-ci sans contusion proprement dite. Or, parmi les contre-coups constants de la contusion, mais plus spécialement encore de la commotion et de l'émotion, nous avons noté cet état d'égarement mental et même de délire, que l'on a nommé le « *syndrome confusionnel* ». C'est le moment d'en préciser un peu la notion.

III. LE « SYNDROME CONFUSIONNEL »

« Voici dans une salle de l'hôpital Gama, à Toul, le soldat Chanot, un journalier, qui se penche continuellement sur le bord de son lit et, par dessus les camarades couchés, regarde fixement vers l'angle de la salle, avec une expression inquiète. Je m'approche et je le questionne : Que regardes-tu, Chanot ? — Pas de réponse. Je recommence plusieurs fois sans succès. Chanot reste muet et immobile, comme si mes paroles, prononcées à voix haute, heurtaient sa pensée sans y pénétrer. Je parle à voix basse : Que regardes-tu, Chanot ? — Il répond sur le même ton : J'observe l'ennemi. — Le vois-tu ? — Non, j'attends. — Qu'est-ce que tu vois ? — Je vois des tranchées. — Quelles sont ces tranchées ? — Des tranchées boches de première ligne, au commencement d'un bois. — Et des Boches ? — Non, je n'en vois point. Je vois le bois (il regarde attentivement), le bois, le bois. — Deux minutes se passent, tandis qu'il regarde toujours, en penchant la tête à droite et à gauche. — Que vois-tu ? — Rien, je surveille les torpilles. — En vient-il ? — Non. Ah ! les Boches ! ils sont dans les bois, ils réparent les tranchées. — Comment sont-ils habillés ? — Je ne sais pas ; je ne vois que leurs têtes.

» Tout absorbé qu'il soit par son délire, il me voit, il m'entend, il sent les contacts et les piqûres et je peux, en lui parlant à voix basse, savoir très exactement quel tableau hallucinatoire se déroule devant lui. Si j'essaie de l'arracher à son rêve, en lui demandant où il est, il me considère avec un air hébété et ne répond pas ; mais, comme on fait, dans les environs de la ville, des expériences de tir au canon, il tressaute à chaque coup, avec de brusques accélérations du pouls, de l'angoisse, de la

sueur aux tempes et, dès qu'il est un peu calmé, il se remet à suivre son rêve avec la même attention inquiète » (1).

Ce cas représente assez bien le tableau moyen de la confusion mentale accompagnée d'onirisme. Nous disons : le tableau moyen, car le « syndrome confusionnel » se présente sous une infinie variété, selon que prédominent l'élément *dépressif* (stupeur, paresse excessive d'idéation) ou l'élément *excitant* (reviviscence hallucinatoire, plus ou moins dramatique, de scènes de combat, agitation maniaque, fabulation). L'espace nous manque pour décrire ces variétés, qui se juxtaposent en une gamme continue. Porot et Hesnard en donnent un classement net et bref dans leur « *Psychiâtrie de guerre* » : nous nous permettons de renvoyer à ce petit livre, riche de contenu.

Le « syndrome confusionnel » est *le syndrome vraiment caractéristique des psychoses de guerre*. « *Confusion mentale* d'une part, *onirisme* ou *délire onirique* de l'autre, sont les deux éléments d'un même syndrome... Ce sont, ainsi que l'a montré le professeur Régis, les syndromes par excellence de la guerre, ceux qui manifestent le plus fréquemment les psychoses acquises à la guerre et survenues, en l'absence de toute prédisposition, ou chez des sujets présentant un minimum de prédisposition, du fait des causes habituelles de trouble mental : intoxication, infection, traumatisme, fatigue et émotion » (2).

Les derniers mots de cette citation énumèrent les causes prochaines de la confusion mentale. Dès avant la guerre le professeur Régis (décédé depuis) les ramenait toutes à une cause immédiate unique : *l'intoxication ou l'infection*. « L'intoxication ou l'infection, sous une forme quelconque, est à la base de toute confusion mentale ; elle est souvent difficile à déceler, parfois plus facile à admettre logiquement qu'à démontrer dans son mécanisme intime ; beaucoup des agents toxiques qui la déterminent sont, cliniquement et biologiquement, mal connus et se rapprochent des poisons de la nutrition, exerçant une action diffuse sur l'économie, ou restreignant leur électivité altérante à un ou plusieurs systèmes organiques distincts. Ce sont des substances de cette nature, réparties diversement au sein des liquides humoraux, qui déterminent ces confusions mentales ; maladies, dans l'expression clinique desquelles les symptômes psychiques éclatants s'accompagnent de modifications soma-

(1) G. Dumas, *op cit.*, pp 48-49.
(2) Porot-Hesnard, *op. cit.*, p. 72

tiques peu marquées, passées à l'arrière-plan, telles que petits signes de poly-intoxication intestinale, hépatique, rénale, ou manifestations souvent subtiles d'insuffisance des glandes internes » (1).

Si l'on admet, comme aujourd'hui la plupart des médecins, ces vues de Régis sur l'étiologie de la confusion mentale, il faudra reconnaître que la guerre a fourni la démonstration péremptoire des *effets toxiques de l'émotion*. « Ce qui domine (parmi les causes de la confusion mentale de guerre), c'est l'émotion-choc ou la répétition des émotions déprimantes. Le traumatisme corporel est au contraire plutôt rare (15 % dans notre statistique) » (2).

Cette remarque éclaire singulièrement *l'étiologie plus lointaine* des psychoses de guerre. Car si la plupart des accidents de confusion mentale n'ont d'autre cause prochaine qu'une émotion anormale, agissant par ses effets toxiques, on pressent quelles doivent être les causes lointaines qui rendent possible cette action pathogène. Le choc émotif, en effet, n'a point suffi, dans la majorité des cas, à déclancher des accidents confusionnels. Au total, la guerre nous révéla des nerfs singulièrement solides. « L'ensemble de préoccupations (qui assiègent le soldat en campagne) est tel que, si l'on tient compte, par surcroît, des fatigues, des insomnies, des intempéries, des privations et des souffrances auxquelles les soldats sont soumis dans certains secteurs et pendant certaines périodes, on s'étonne à priori que le système nerveux le plus résistant soit capable de supporter des épreuves si terribles et si prolongées, qui semblent surhumaines. L'expérience montre, au contraire, que chez les soldats sains et suffisamment entraînés, les assauts et les bombardements les plus effroyables ne produisent pas de troubles psychiques graves et persistants ; tout au plus peut-on noter des états d'énervement, d'asthénie et d'obnubilation, qui ne tardent pas à disparaître dans le calme et la sécurité du cantonnement de repos. On doit donc admettre que la résistance morale du soldat bien équilibré est au-dessus de toutes les émotions de guerre, sinon au-dessus de toutes les commotions de guerre, car la stupeur et l'obtusion transitoires sont de règle, après l'éclatement très rapproché des grosses marmites et des torpilles.

(1) E. Régis et A. Hesnard, *Les confusions mentales*. Dans : TRAITÉ INTERNATIONAL DE PSYCHOLOGIE PATHOLOGIQUE. Tome II. Paris, 1911, p. 800

(2) Porot-Hesnard, *op. cit.*, p. 73.

» De cet ensemble de constatations, il semble résulter que tout désordre psychique de quelque importance suppose, dans la très grande majorité des cas, une *prédisposition morbide*, d'ailleurs elle-même inversement proportionnelle à la puissance de la cause pathogène. L'expérience démontre en effet le rôle capital de l'*état antérieur* dans le traumatisme moral de guerre. Et chaque fois que l'émotivité et l'anxiété sont en jeu, l'existence d'une *constitution émotive et anxieuse* est, sinon constante, du moins très fréquente » (1).

Les troubles confusionnels supposent donc d'ordinaire, outre leurs causes immédiates, une prédisposition lointaine, un terrain. D'après Régis, que suivent en cela Dumas, Porot et Hesnard, et bien d'autres, cette prédisposition est double : d'une part, une *constitution émotive,* et d'autre part une *prédisposition toxique,* c'est-à-dire une susceptibilité spéciale des centres nerveux pour l'auto-intoxication. Dans la plupart des cas, cette double prédisposition devait exister avant la campagne, bien qu'on ne puisse pas nier que la répétition des tracas et des émotions de guerre ne suffise parfois à créer le terrain émotif et que la prédisposition toxique ne doive se réduire quelquefois à une intoxication, encore latente, résultant d'une mauvaise nutrition, de fatigues excessives, et ainsi de suite.

IV. TROUBLES NEURO-PSYCHIQUES POSTCONFUSIONNELS

Passé la période de confusion mentale, il persiste chez beaucoup de « commotionnés » et d' « émotionnés » des accidents divers, qui peuvent présenter la plus déconcertante variété. Outre une émotivité exagérée, qui est fort fréquente et dépend sans doute d'une sorte d'affolement de la fonction vaso-motrice et des autres fonctions régulatrices liées à la vie affective, se rencontrent des troubles divers de la vie végétative et de la réflexivité nerveuse ; ou bien des désordres marqués de la motricité volontaire : tremblements, mouvements choréiques, tics de tous genres, hémiplégie, paraplégie, contractures variées ; ou bien encore, des troubles de la sensibilité : cécité, surdité, surdi-mutité, anesthésie, analgésie, anomalies dans la répartition des territoires tactiles, et ainsi de suite ; enfin des troubles affectant plus directement les fonctions psychiques associatives

(1) A. Devaux et J.-B. Logre, *Les Anxieux*. Paris, 1917, pp. 285-286.

et l'idéation : amnésies plus ou moins capricieuses, aphasies, cécité ou surdité verbale, etc. Pour le détail de ces séquelles protéiformes de la commotion et de l'émotion-choc, nous renvoyons le lecteur aux exposés de G. Dumas *(Troubles mentaux et troubles nerveux de guerre*. Paris, 1919, pp. 99-116), de G. Roussy, J. Boisseau et M. d'Oelnitz *(Traitement des psychonévroses de guerre*. Paris, 1919. Collection horizon. Chap. I, pp. 12-36) ou de A. Porot et A. Hesnard *(Psychiâtrie de guerre*, Paris, 1919, Deuxième partie. Étude clinique, chap. I, passim).

Mais une question se pose d'elle-même : quelle cause assigner de ces accidents multiples et variables ? Leur interprétation ne laisse pas que d'offrir quelque difficulté, et les *théories* se divisent en trois groupes principaux :

1. *Interprétation organique.* — Il n'est pas contestable que plusieurs accidents moteurs ou sensoriels, même tardifs, ne soient dus, dans certains cas, à des lésions organiques persistantes ou à une intoxication actuelle des centres nerveux. L'autopsie en a fourni parfois l'évidence directe. Des observations de plusieurs médecins (et surtout peut-être du Dr G. Guillain) il résulte que l'on ne doit pas trop se hâter de déclarer purement fonctionnels des troubles nerveux quelconques dont on n'aperçoit pas de cause somatique. Néanmoins, on avouera que l'interprétation organique, si elle couvre assez bien une série de cas, rebelles au traitement psychothérapique dont nous parlerons plus loin, ne saurait s'étendre à la totalité des cas (1).

2. *Interprétation émotionnelle.* — On sait que les émotions fortes, surtout la peur, qui est ici principalement en cause, peuvent déterminer des réactions corporelles violentes, et même des troubles — passagers — de la sensation externe. On a supposé que plusieurs des symptômes postconfusionnels n'étaient autre chose que les manifestations somatiques anormalement persistantes de l'émotion initiale. Cette opinion réédite une thèse de Déjerine : « Alors que, chez le sujet normal, les manifestations (émotionnelles) ne durent pas, le sujet se ressaisissant vite, chez certains autres, et en vertu de tendances le plus souvent héréditaires, très rarement acquises, elles se fixent, se cristallisent pour ainsi dire ... » (2). Que cette

(1) G. Dumas, *op. cit.*, p. 136.
(2) *Soc. Neurol. Psychiâtrie*, décembre 1909. Cf. Dumas, *op. cit.*, p. 143.

explication soit très inadéquate aux cas à expliquer, cela résulterait déjà du fait que, de l'aveu même de Déjerine, cette fixation de manifestations émotives rend compte seulement des troubles qui débutent immédiatement après l'émotion. Or la plupart des accidents dont il est ici question n'apparaissent qu'après un intervalle de plusieurs heures au moins, et plus souvent de quelques jours.

3. *Interprétation pithiatique.* — Le mot « pithiatisme » (ἡ πειθώ, persuasion, et ἰατός, guérissable) fut proposé par Babinsky, au cours de discussions retentissantes sur la nature de l'*hystérie* (1908), à l'effet d'exprimer le caractère essentiel de cette mystérieuse maladie. Celle-ci doit désormais se définir comme suit : « L'hystérie est un état pathologique se manifestant par des troubles qu'il est possible de reproduire par suggestion, chez certains sujets, avec une exactitude parfaite et qui sont susceptibles de disparaître sous l'influence de la persuasion (contre-suggestion) seule » (1).

L'interprétation pithiatique consiste donc avant tout à attribuer la plupart des troubles commotionnels ou émotionnels persistants à l'*autosuggestion* pratiquée inconsciemment par le malade. Et le principal appui de cette hypothèse explicative, c'est qu'en effet, la plupart de ces accidents se montrent curables par suggestion.

Veut-on assister à une de ces scènes de thaumaturgie médicale, où, en une seule séance parfois, se redressent les troncs-courbés, se détendent les contracturés, marchent les paralytiques, voient les aveugles, entendent les sourds et parlent les muets? Bornons-nous à ces derniers, faute d'espace. « C'est avec les muets, écrit G. Dumas (2), que les succès ont toujours été les plus rapides et les plus complets. Presque tous ont parlé dès la première séance, après des excitations (électriques) très peu douloureuses dont la durée ne dépassait pas deux minutes... En général, les malades qui étaient plus spécialement aphones poussaient un cri de douleur et de surprise : ah ! sous l'influence des premières décharges, et ce cri leur révélait à eux-mêmes la possibilité où ils étaient encore de faire fonctionner leur larynx. Une fois ce premier cri poussé, il n'y avait qu'à continuer les excitations,

(1) J. Babinsky et J. Froment, *Hystérie — Pithiatisme et Troubles nerveux d'ordre réflexe.* 2e édit. Paris, 1918. Collection horizon, p. 20.

(2) *Op. cit.*, p. 151.

en les appuyant de fortes objurgations, pour faire émettre par le malade toutes les voyelles : Tu viens de dire *ah !* Dis : *E*, tu le peux ; allons, dépêche-toi ; tu ne fais pas ce que tu peux. Dis : *I*, nom de ... ! etc. — Le malade disait *I*, puis *E*, puis *O*, puis *U* ; on recommençait avec les consonnes, et, les premières consonnes une fois prononcées, on proposait une phrase : Je vais mieux ; il fait beau : je ne suis plus muet, etc. — La phrase dite, on déclarait : Tu vois bien que tu peux parler. — Et le muet parlait en effet ». On trouvera dans l'ouvrage, cité plus haut, de G. Roussy et de ses collaborateurs, des détails techniques, très finement notés, sur la manière d'obtenir ce « décrochage » par persuasion (1).

Les résultats de la psychothérapie de guerre invitent donc à ranger la plupart des troubles postconfusionnels dans la catégorie des accidents hystériques. Mais il s'agit, bien entendu, d'une hystérie réduite aux termes d'une définition sobre et nette, celle de Babinsky.

On peut dire que la guerre a apporté une confirmation brillante au point de vue de cet éminent neurologue. Comme il le rappelle lui-même, dans l'ouvrage cité plus haut *(Hystérie-pithiatisme,* etc., 2e édit. Paris, 1918. Première partie), il commença — il y a de cela pas mal d'années — par soumettre à une revision serrée le tableau trop touffu des symptômes attribués communément à l'hystérie, à la « grande simulatrice ». On ne prête qu'aux riches, certes, mais vraiment, le pouvoir de simulation hystérique devait avoir des limites.

Il fallut d'abord distinguer clairement les paralysies organiques et les paralysies hystériques : un des principaux caractères différentiels mis en évidence par Babinsky est l'impuissance de l'hystérie à modifier d'une manière appréciable les réflexes tendineux, comme aussi les réflexes pupillaire et pharyngien. Puis ce fut le tour d'autres symptômes, par exemple, des troubles vaso-moteurs qui provoqueraient — prétendait-on — de l'œdème et des hémorragies viscérales ou cutanées. Bref, ces travaux de déblaiement « ont eu pour effet de restituer à des *affections organiques*, aujourd'hui bien connues, ce que l'hystérie s'était indûment approprié ; de plus, ils ont contribué à la désencombrer des produits de la *supercherie* » (2).

Après l'élagage, il restait encore, sous l'étiquette d'hystérie,

(1) Roussy, etc. *Op. cit.* Chap. IV, pp. 57-110.
(2) *Op. cit.*, p. 17.

une masse assez confuse de phénomènes, dont le lien n'apparaissait guère. Babinsky y discerne deux groupes : « Au premier de ces groupes appartiennent : des crises convulsives, des paralysies, des contractures variées, des tremblements, des mouvements choréiques, parfois irréguliers, mais généralement rythmés, des troubles de la phonation, de la respiration, de la sensibilité (anesthésie, hyperesthésie), des troubles sensoriels — accidents ayant pour caractère commun de pouvoir être reproduits par la suggestion expérimentale qui, fait capital, est *capable d'en déterminer la forme, l'intensité et la durée*... Ces troubles sont susceptibles aussi de disparaître, parfois instantanément, sous la seule influence de la persuasion ou contre-suggestion » (1). « Le deuxième groupe comprend d'une part le dermographisme, qui traduit une exagération des réflexes vasomoteurs cutanés, et d'autre part des réactions émotives anormalement intenses et prolongées : tachycardie, érythèmes, hypersécrétion sudorale ou intestinale. La suggestion n'est pas en mesure de les reproduire et la contre-suggestion est sans action sur eux ». Toutefois, sur les réactions somatiques émotives, il peut y avoir une influence *indirecte* de la suggestion, « par l'intermédiaire de l'émotion qu'elle peut occasionner », mais « elle n'en est pas maitresse : une fois qu'ils ont apparu, ils échappent à son influence ; elle est *incapable d'en déterminer la forme, l'intensité et la durée* » (2).

Le dernier groupe doit être détaché de l'hystérie, car les accidents qui le caractérisent, — « dermographisme, troubles vaso-moteurs ou troubles de la réflectivité vaso-motrice, troubles émotifs ou troubles de l'émotivité » — répondent chacun, isolément, à une étiologie bien déterminée, qui n'est point essentiellement liée à l'hystérie. Celle-ci — appelons-la plutôt « pithiatisme » pour la dégager de toute association fâcheuse — ne peut légitimement revendiquer que les troubles du premier groupe, tous justiciables de la suggestion.

Or, les accidents neuro-psychiques post-confusionnels, ceux du moins qui ne sont pas entretenus par une lésion organique persistante mais se montrent curables par suggestion, appartiennent manifestement au premier groupe de Babinsky, ce qui en indique à la fois la nature et les causes. Comment faut-il, d'après cela, se représenter l'origine de la plupart des troubles rémanents consécutifs à la commotion ou à l'émotion-choc ?

(1) *Op. cit.*, p. 18.
(2) *Op. cit.*, p. 19.

Babinsky et ses collaborateurs ont montré que ni la *commotion*, ni l'*émotion*, ne peuvent *créer directement* des états pithiatiques ; au contraire, « quand une émotion sincère, profonde, secoue l'âme humaine, il n'y a plus de place pour l'hystérie » (1). Leur rôle se borne à préparer *un terrain favorable à la suggestion extérieure ou à l'auto-suggestion*. « Entre le choc émotif (et l'on en dirait autant de la commotion générale) et l'apparition des accidents pithiatiques il y a une phase intervallaire parfois assez longue » (2).

Dans les cas qui nous occupent, par quoi remplirons-nous cet intervalle ? Nous avons dit plus haut que la commotion et l'émotion créaient un « état confusionnel », soit directement, soit par l'intermédiaire d'une intoxication des centres nerveux. Or, on sait par ailleurs que la *confusion mentale*, avec la tendance onirique qui s'y développe, est un terrain de choix pour la suggestion, et en particulier pour l'auto-suggestion. On ne doit donc pas s'étonner de la fréquence et de l'étrangeté des accidents pithiatiques qui éclosent sur un sol aussi propice. Du reste, dans un très grand nombre de cas, on peut suivre la genèse et le développement de l'auto-suggestion. Celle-ci naît le plus souvent d'un désordre organique réel mais relativement bénin, repris, prolongé et compliqué par l'imagination du malade, ou bien d'une certaine difficulté, encore actuellement présente, d'exercer telle ou telle fonction physique ou psychologique (mouvement, sensation, remémoration, etc.), difficulté que le malade transforme, à son insu, en une impossibilité absolue ; bref, le trouble pithiatique s'amorce à un menu fragment de réalité, « l'auto-suggestion s'est faite sous la pression d'une *épine* organique ou fonctionnelle ».

Il faudrait donc sérier comme suit les causalités ici en jeu : Prédisposition émotive et toxique, commotion et émotion, ébranlement et intoxication des centres cérébraux, état confusionnel, auto-suggestion stimulée d'ordinaire et aiguillée par une « épine organique », enfin troubles pithiatiques.

Bien que le pithiatisme de guerre ne soit qu'une hystérie d'occasion et nullement une hystérie constitutionnelle, la guérison du trouble particulier, traité par la suggestion médicale, ne met pas toujours à l'abri, soit de récidives, soit d'accidents

(1) J. Babinsky et J. Dagnan-Bouveret, *Émotion et hystérie*. JOURNAL PSYCHOL. NORMALE ET PATHOL., 1912, n° 2, p. 131.
(2) Babinsky et Froment, *op. cit.*, p. 40.

de forme nouvelle. C'est que le terrain pithiatique, la suggestibilité morbide, subsiste ; et il peut en être ainsi pendant un temps plus ou moins long. Voici un cas assez frappant, rapporté par Babinsky et Froment (1) : « Sous l'influence de la commotion produite par l'éclatement d'une torpille aérienne, un soldat tombe et perd connaissance. Il est transporté à l'ambulance, puis à l'hôpital d'évacuation, dans le coma. Le coma cesse 48 heures après le début des accidents, mais le blessé est atteint de mutisme complet et de contracture des membres inférieurs. La ponction lombaire donne issue à un liquide franchement hémorragique. Cependant, à un examen attentif, la contracture se présente avec tous les caractères d'une contracture d'ordre psychique ; on parvient à la faire disparaître en quelques instants par contre-suggestion et à faire marcher le malade. Au cours d'une deuxième rachicenthèse, le sujet est pris d'un spasme du membre supérieur, dont on obtient aussi la disparition immédiate par la seule persuasion. Dans la nuit qui suit cet examen, le malade, au cours d'un rêve, se met à parler, et à partir de ce moment il est guéri de son mutisme. Enfin, un mois après, il est évacué sur un centre neurologique, où il est de nouveau examiné par l'un de nous pour des troubles de motilité, rappelant la chorée rythmique, qui cèdent rapidement lorsqu'on lui a assuré que ces accidents sont bénins. Au bout de quelques jours, le sujet se montre impatient de quitter l'hôpital ; il se déclare complètement guéri et demande à retourner au front ».

En résumé, les accidents tardifs de la commotion et de l'émotion se groupent en *deux grandes catégories :* 1° troubles neuro-psychiques provoqués et entretenus par des lésions organiques persistantes, qui échappent souvent à l'investigation directe ; ces troubles, dans la mesure où ils ont une cause immédiate organique, résistent à la suggestion ; 2° troubles neuro-psychiques pithiatiques, sans cause organique immédiate, ou bien complications pithiatiques de troubles à base organique : ces troubles, provoqués par la suggestion, sont curables par elle.

4. *Cas douteux : les troubles dits « physiopathiques » ou « nerveux d'ordre réflexe ».* — Théoriquement parlant, les deux grandes catégories délimitées ci-dessus s'opposent immédiate-

(1) *Op. cit.*, p. 431, d'après une observation de Leriche et Froment.

ment et ne laissent point de place pour un terme moyen. En fait, dans la masse des accidents réellement observés, un groupe nouveau se dessine, qu'il est bien difficile de réduire à ce classement général. Nous voulons parler des troubles neuro-psychiques décrits systématiquement, au cours de la guerre, par Babinsky lui-même, et appelés par lui « troubles physio-pathiques » ou « troubles nerveux d'ordre réflexe » (1).

« Les troubles nerveux d'ordre réflexe se développent à la suite de blessures ou de divers traumatismes des membres et, parfois encore, à la suite de gelures. Il est assez difficile d'indiquer à quel instant précis ils se développent. D'après Claude, Gougerot et Charpentier, ils pourraient apparaître immédiatement après la blessure. Souvent le blessé ne s'est aperçu de ces troubles qu'après l'enlèvement des objets de pansement ou des appareils de contention. D'autres fois, plusieurs semaines après le traumatisme, il a vu le membre atteint prendre une attitude vicieuse qui s'est accentuée progressivement et contre laquelle il a cherché, mais en vain, à s'opposer. Parfois enfin, les troubles initiaux consistant en de légers états parétiques se sont brusquement et tardivement aggravés à la suite de fatigues » (2).

Ces accidents singuliers consistent surtout en des troubles de la motilité (contractures, hypotonies, paralysies); « ils ne s'accompagnent d'aucun des signes qui appartiennent en propre aux affections organiques classées, aux lésions du système nerveux central ou périphérique et aux lésions des gros troncs vasculaires. Ils se rapprochent par certains traits des manifestations hystériques : la lésion qui les a causés est parfois minime, hors de proportion avec les désordres fonctionnels qui en résultent ; ils la débordent, s'étendent en amont, ne répondent à aucun territoire anatomique connu ; et cependant, ces accidents sont parfois d'une assez grande ténacité, et, contrairement aux phénomènes pithiatiques, ils résistent à la contre-suggestion » (3). De plus, ils s'accompagnent d'un cortège, variable, de caractères secondaires, étrangers aux manifestations hystériques : « Outre la contracture et la parésie, qui peuvent s'associer, tout en se localisant parfois dans des segments différents du membre, on

(1) De même que la suggestibilité morbide et le pithiatisme peuvent exister, chez des combattants, en dehors de toute cause commotionnelle ou émotionnelle, de même les troubles dont nous parlons ici peuvent se présenter indépendamment de toute commotion ou émotion.

(2) Babinsky et Froment, *op. cit.*, p. 103.

(3) Babinsky et Froment, *op. cit.*, p. 77.

constate, lorsque le syndrome est complet : de l'atrophie musculaire ; de l'exagération des réflexes tendineux ; des modifications des réflexes cutanés pouvant aller jusqu'à l'irréflectivité ; de l'hypotonie ; de la surexcitabilité mécanique des muscles avec lenteur de la secousse musculaire ; des modifications quantitatives de l'excitabilité électrique des muscles... ; de la surexcitabilité mécanique et parfois électrique des nerfs ; des troubles de la sensibilité objective et subjective...; des troubles de la régulation thermique... et de la régulation vaso-motrice...; des troubles sécrétoires et enfin des troubles trophiques divers du système osseux, des ligaments, de la peau, des phanères » (1).

Les médecins admettent presque unanimement une certaine unité objective de ce « syndrome physiopathique », passablement complexe, dégagé par Babinsky. Mais, sur l'interprétation causale du « syndrome », les avis restent fort partagés.

S'inspirant d'une théorie ingénieuse de Charcot, Babinsky interprète l'ensemble des symptômes dont nous parlons comme l'expression terminale d'un *réflexe* dont l'origine serait la lésion périphérique. Celle-ci, en effet, déterminerait une perturbation dans les centres spinaux et sympathiques, et par là provoquerait les accidents les plus variés dans le domaine d'influence de ces centres. La pathogénie serait ici purement réflexe, nullement pithiatique.

D'autres médecins, par exemple Claude et Lhermitte, joignent à « l'action réflexe » l'influence de l'immobilisation du membre blessé et une intervention dynamogénique anormale des centres nerveux. Toutefois, si ces causes physiques leur paraissent suffisantes pour expliquer le début de l'affection, la fixation de celle-ci est assurée, croient-ils, par un mécanisme purement psychique (hystérie, pithiatisme, ou habitude).

D'autres encore, qui admettent pleinement le point de vue de Babinsky dans la question générale de l'hystérie, se montrent ici ses opposants les plus décidés. Ils proposent une « théorie dyskinétique », qui distingue entre la contracture ou l'attitude vicieuse et les effets physiques de l'immobilisation qu'elle impose au membre atteint. La formule de cette théorie serait la suivante : Il faut considérer « les *troubles moteurs* du syndrone physiopathique comme pithiatiques, les *autres éléments* comme des accidents secondaires de l'hystérie » (2). Le grand argument que M. Roussy et ses collaborateurs apportent à l'appui de

(1) Babinsky et Froment, *op. cit.*, pp. 77-78.

(2) G. Roussy, J. Boisseau et M. d'Oelsnitz, *Traitement des psychonévroses de guerre* Paris, 1919, p. 121.

leur manière de voir, sont les nombreuses et brillantes cures psychothérapiques effectuées en s'attaquant, par suggestion, aux troubles proprement moteurs, sans tenir compte des seconds, qui disparaissent par voie de conséquence, moyennant quelques soins appropriés.

M. Babinsky, de son côté, étayait sa théorie de recherches extrêmement détaillées et consciencieuses. Il s'est, depuis, rapproché quelque peu du point de vue de M. Roussy, mais sans abandonner toutefois l'idée essentielle de « troubles nerveux d'origine réflexe ». *Adhuc sub judice lis est.* Il nous serait impossible d'exposer dans cette revue rapide les arguments des deux parties. A tout prendre, ces discussions, dussent-elles ne point apporter de clartés décisives, n'auront pas été stériles ; car, tout en mettant hors conteste la nature autosuggestive ou hétérosuggestive du pithiatisme (la véritable *hystérie*), elles auront attiré vivement l'attention sur l'association fréquente des accidents purement pithiatiques avec des troubles somatiques antécédents, concomitants ou résultants : « épines organiques », désordres nerveux d'origine réflexe, ou enfin contre-coups physiques plus ou moins étendus d'un trouble principal, pithiatique.

Nous n'avons pu, dans ces pages, que procéder à un repérage très sommaire de quelques points saillants qui concernent les psychologues. Ceux-ci d'ailleurs savent fort bien, qu'à leur point de vue même, les aperçus d'ensemble sont à peine utilisables sans le fin détail qui en marque la portée réelle. Sous le bénéfice de ces réserves, nous résumerions volontiers notre revue générale de la psychopathologie de guerre en disant que, si elle n'enregistre aucun fait sensationnel ni totalement nouveau, elle souligne l'importance et l'intérêt renouvelé d'un petit nombre de problèmes, poussés plus avant grâce à l'expérience massive des dernières années : nous voulons dire, le problème des *localisations corticales,* le problème des *effets organiques de l'émotion* et surtout de son action directe ou indirecte sur le métabolisme, le problème *de la puissance et des limites de la suggestion*, ou, si l'on veut, le problème du pithiatisme et des associations hystéro-organiques. On aura remarqué que nous avons borné notre enquête à des observations médicales de psychopathologie individuelle, sans entrer jamais sur le terrain de la psychopathologie collective : cette omission n'est point une manière d'insinuer qu'il n'y ait là rien à glaner d'intéressant ; au contraire.

J. Maréchal, S. J.

III

LE CENTENAIRE DU P. SECCHI (1)

—

Le 28 juin 1818, aux premières vêpres de la fête des Saints Apôtres, dans la ville de Reggio-Émilie, *Reggio nell' Emilia*, que le Congrès de Vienne venait de donner au Duc de Modène, naquit le futur astronome illustre Angelo Secchi. Il était destiné à faire rejaillir sur la Rome des papes, durant une période de plus d'un quart de siècle, qui coïncida presque exactement avec la période même du pontificat de Pie IX, l'éclat toujours croissant d'une science universellement admirée.

En l'année 1918, le centième anniversaire de cette naissance approchant, la savante Reggio, dont la bibliothèque, aux soixante mille volumes et aux milliers de manuscrits, avait un moment redouté les catastrophes des heures terribles, s'apprêta à célébrer ce premier centenaire. L'antique cité lombarde ou, pour remonter plus haut, le *Rhegium Emilii Lepidi*, la contemporaine de la Voie Émilienne, est, au surplus, jalouse d'honorer la mémoire de ses fils illustres : fière d'avoir donné aux belles-lettres l'Arioste, que Ferrare lui dispute vainement ; aux sciences naturelles, Spallanzani, né à Scandiano, petit bourg tout proche de la ville ; au droit, le jurisconsulte et érudit du XVIe siècle, Panciroli, auteur de la célèbre *Notitia dignitatum utriusque Imperii*, elle célébrera le centenaire de la naissance de Secchi aussi dignement que le permettra le malheur des temps. L'Europe est à feu et à sang, l'Italie est dans le deuil et dans l'angoisse. Il ne s'agira donc pas d'une pompeuse fête nationale ou municipale, ni de l'érection de quelque marbre somptueux. La solennité « à la mémoire du P. Secchi », — *per il monumento al P. Secchi*, — sera une cérémonie d'appareil tout scientifique : on invitera divers personnages du monde politique et du monde religieux, mais surtout des représentants de la science italienne ; en première ligne, les directeurs des

(1) *Il P. Angelo Secchi*, per li Cardinale PIETRO MAFFI, Arcivescovo di Pisa. Commemorazione tenuta nel Teatro municipale di Reggio Emilia il 21 luglio 1918. Une brochure in-4° de 70 pages, dont 20 de notes et références. Milano, Società editrice « Vita e Pensiero », 1918.

principaux Observatoires de la péninsule. Les invitations furent excellemment accueillies. La solennité fut fixée au 21 juillet 1918. Peut-être apprit-on ce jour-là, à Reggio, que l'horizon cessait d'être inquiétant, et que trois jours plus tôt, le 18 juillet 1918, à 4 heures 35 minutes du matin, s'était enfin soudainement déclanchée la définitive et triomphante offensive des Alliés, qui en quatre mois allait réduire aux abois l'envahisseur. A Reggio, on cessa pendant quelques heures de songer à la guerre. Assemblés au Théâtre municipal, l'un des plus beaux et des plus grands théâtres de l'Italie, les invités entendirent un orateur magnifique, d'une tenue littéraire et d'une tenue scientifique parfaites, les entretenir de la vie et de l'œuvre du P. Angelo Secchi : Reggio avait, en effet, la bonne fortune de voir la solennité rehaussée par la présence du Cardinal Pietro Maffi, Archevêque de Pise, qui joint à l'éclat de la pourpre romaine l'illustration d'un grand et légitime renom scientifique en Italie.

Nul n'était plus désigné que l'Archevêque de Pise pour présider la *Commemorazione* tenue à Reggio. Sa carrière scientifique est des plus considérables. Jeune prêtre, il professe au séminaire de Pavie la Philosophie, puis la Physique et l'Astronomie ; il y crée un Cabinet de Physique et un Observatoire ; il fonde et dirige longtemps lui-même la *Rivista di Fisica, Matematice e scienze naturale ;* il écrit des ouvrages de vulgarisation, notamment les attachantes lectures intitulées *Nei Cieli ! (Dans les cieux !)* Évêque auxiliaire à Pavie en 1901, il devient Archevêque de Pise en juin 1903. En novembre 1904, il reçoit de Pie X la charge de Préfet de l'Observatoire du Vatican, *della Specola Vaticana*, réorganise l'Observatoire à la satisfaction du Pontife, et obtient en mars 1906 que le jésuite Hagen en soit nommé Directeur (1). Au Consistoire du 30 avril 1907, il est créé Cardinal. Membre de l'Académie pontificale des Nuovi Lincei et de plusieurs autres Sociétés, le Cardinal Maffi a fait l'honneur à la Société scientifique de Bruxelles de se faire inscrire parmi ses membres.

La Société scientifique saura gré au Cardinal Maffi de l'hom-

(1) Voy. Maffi, *Specula Vaticana, Inaugurazione*, Rome, 1910, et dans The Catholic Encyclopedia (New York), t. XV, 1912, l'article *Vatican Observatory*, signé par le P. Hagen. — Le P. Hagen reçut sa nomination officielle de Directeur de l'Observatoire du Vatican le 26 avril 1906 ; l'Observatoire fut réorganisé, muni de nouveaux instruments et installé dans les *torre Leonina* et *torre Pio X ;* il fut inauguré par Pie X en 1910.

mage qu'il a rendu à la mémoire du P. Secchi. Elle revendique, en effet, le P. Secchi comme un de ses ouvriers de la première heure, et de ses plus illustres. Lors de la fondation de la Société, le célèbre astronome du Collège Romain avait été l'un des premiers savants étrangers à nous donner son nom : il avait, en même temps, annoncé sa présence au premier congrès annuel. A la séance inaugurale, le 18 novembre 1875, l'assemblée approuva par une acclamation unanime la décision du Comité provisoire, qui avait inséré d'office le nom du P. Secchi en tête de la liste des *membres d'honneur ;* Secchi, le Prince Boncompagni, d'Abbadie, Hermite, Puiseux, Barrande, le général Newton, le Docteur Foerster, Heis, Perry, de Lapparent : liste brillante de savants croyants, dont chaque nom évoque bien des souvenirs à la mémoire des membres, déjà rares, qui appartiennent à la première génération. Hélas, celui dont le nom ouvrait cette première et splendide liste des membres honoraires, devait être frappé un des premiers par la mort. Déjà, à l'Assemblée générale d'octobre 1876, le Secrétaire annonçait que le P. Secchi, tristement atteint en sa santé, avait dû renoncer à son voyage en Belgique. On cessa d'espérer entendre à Bruxelles une de ces célèbres conférences du P. Secchi sur la Physique du Soleil ou des Étoiles, qui eût formé, avec les inoubliées conférences d'Antoine d'Abbadie sur les Desiderata de l'Astronomie et du P. Perry sur les Passages de Vénus sur le disque solaire, le plus beau des triptyques. Par compensation, le P. Secchi, en membre dévoué et en inlassable ouvrier, offrit à la Société scientifique sa récente et inédite *Lettre à M. Newcomb sur la structure du Soleil ;* cette lettre, datée du 3 septembre 1876, synthétisait les récentes découvertes et conclusions de l'astronome romain et constitue un des plus précieux joyaux du tome Ier des Annales de la Société.

Dans la même séance d'octobre 1876, dont nous venons de parler, un autre astronome, ami du P. Secchi, le vénérable Eduard Heis, directeur de l'Observatoire de Munster, faisait présenter lui aussi à la Société une communication savante, qui parut dans le même premier tome des Annales que la *Lettre à Newcomb* du P. Secchi. Tous deux, on le voit, acceptaient d'être membres d'honneur de la Société naissante, mais à la condition d'en être aussi des membres actifs. Savants infatigables, dominant l'un les emprises de l'âge, l'autre les étreintes de la maladie, ces deux hommes se ressemblaient : l'un venait de terminer son célèbre *Atlas cœlestis*, fruit de trente-deux ans de labeurs,

et priait son ami de le déposer aux pieds du Souverain Pontife ; l'autre achevait de refondre son beau livre *Le Soleil,* en faisait le chef-d'œuvre des ouvrages d'Astronomie physique du dernier siècle, et, pour clore la préface, exprimait l'espoir que son travail serait utile au lecteur « en l'instruisant, et en l'invitant » à rendre hommage à Celui qui a placé sa tente dans le Soleil : » *in Sole posuit tabernaculum suum Altissimus.* » Tous deux allaient descendre bientôt dans la tombe : Heis, en juin 1877 ; le P. Secchi, le 26 février 1878.

Du reste, longtemps avant que la Société se fondât, Heis et Secchi constituaient déjà, par leur science et par leur caractère, la vivante démonstration de la formule du Concile du Vatican : « Entre la foi et la raison, jamais il ne peut exister un véritable désaccord ». — Si l'on feuillette les Mémoires annuels de l'Observatoire du Collège Romain, on rencontrera, dans les *Memorie* de 1856, un passage où le P. Secchi interrompt d'une parenthèse l'exposé des observations astronomiques faites par lui et par ses aides : c'est pour rappeler incidemment « le mot que le fonda- » teur du Collège Romain, — Grégoire XIII, — a voulu inscrire » sur la façade : *Religioni et bonis Artibus* » ; et dans un rapide commentaire le savant astronome relève, en ce mot, l'invitation « de prouver par des faits que la vraie foi n'est point hostile à la » science, mais que l'une et l'autre sont deux rayons issus d'un » même Soleil. »

Ces souvenirs et ces pensées semblent nous avoir éloigné de Reggio et du Grand Théâtre municipal où, le 21 juillet 1918, le Cardinal Archevêque de Pise déroulait devant une attentive assemblée d'amis de la cité et d'amis de la science son magnifique discours, *il Discorso dalla Commemorazione.* En réalité, ce sont les souvenirs et les pensées que réveillaient en notre esprit, à mesure que nous les lisions, les savantes et très attachantes pages de cette conférence. Certes, S. E. Mgr Maffi oublia, mais à dessein, d'ouvrir cette conférence par quelque texte latin : il ne mit du latin soit sacré, soit ecclésiastique, nulle part, bien que certaines sentences du Vatican ne cessassent, croyons-nous, d'être présentes à sa pensée (1). Il oublia, à dessein encore, de formuler, même en passant, la thèse qu'il voulait sans nul doute

(1) Nulla unquam inter fidem et rationem vera dissensio esse potest ... Tantum abest ut Ecclesia humanarum artium et disciplinarum culturæ obsistat, ut hanc multis modis juvet atque promoveat. (Concile du Vatican, *Constitutio de Fide cath.*, cap. IV.)

établir. D'ailleurs, à quoi bon parler latin ? A quoi bon formuler la thèse de la parfaite harmonie entre l'esprit scientifique et l'esprit religieux, lorsque cette thèse est mise en lumière par le seul fait de cette imposante assemblée profane se réunissant pour honorer le souvenir d'un jésuite astronome, disparu il y a près d'un demi-siècle, et confiant à un homme d'Église la mission de parler au nom des hommes de science et de parler avec une autorité et par un discours scientifique dignes de la chère et savante mémoire qu'il s'agissait d'honorer ?

Par son allure constante de haute vulgarisation, par son langage élevé et souvent éloquent, par son exposé de l'ensemble et de toutes les parties de l'œuvre du P. Secchi, par sa clarté et sa précision toujours parfaites et décelant un ancien professeur de Philosophie et de Physique du Séminaire de Pavie, par sa science toujours sûre d'elle-même et digne du fondateur de la RIVISTA DI FISICA, par l'intérêt continuel et la beauté de ces pages, écrites de la même plume que *Nei Cieli*, la conférence de Mgr Maffi ne peut manquer de plaire extrêmement et d'être souverainement estimée des hommes de science. En la lisant, nous nous sommes souvent rappelé une autre notice, due elle aussi à une plume à la fois savante et très littéraire, et qui parut en 1878 dans cette REVUE même. Elle est due au regretté P. Van Tricht. Prié de payer à la mémoire de l'astronome italien, qui venait de mourir, la dette d'admiration et de gratitude de la SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE, il le fit en sa belle étude intitulée *Le P. Secchi*, et il le fit d'un cœur ému et avec cette âme d'artiste, qui l'accompagna dans toute sa trop courte carrière de conférencier scientifique (1). Les deux savantes notices se complètent l'une l'autre, et chacune des deux restera infiniment précieuse.

(1) *Le P. Secchi*, par le P. Victor Van Tricht, S. J., dans la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, octobre 1878, pp. 352-402. Mgr Maffi, dans les *Notes* qui suivent sa Conférence, s'y réfère plusieurs fois. — La même livraison d'octobre 1878 de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES contient pp. 643-665 une *Liste des principales publications du P. Secchi* : elle avait paru en majeure partie dans les ATTI DELLA REG. ACCAD. DEI LINCEI, mars 1878. Mgr Maffi cite en ses *Notes*, Note 7, cette Liste de la REVUE de 1878 ; il nous permettra de renvoyer nos lecteurs à la BIBLIOTHÈQUE DE LA C. DE J. du P. Sommervogel, t. VII (1896), art. *Secchi (Angelo)* : cet article contient une bibliographie du P. Secchi, que Mgr Maffi omet de citer : elle l'emporte à tous égards sur la liste que Mgr Maffi croit à tort la plus complète, publiée en 1888 par Bricarelli, S. J.

Nous ignorons si la 2de édition (Cologne, 1904) de l'ouvrage *P. Angelo Secchi* du Dr J. Pohle (1re éd., *ibid.* 1883) contient une bibliographie plus complète

Racontant la vie scientifique du P. Secchi, Mgr Maffi a été sobre de détails sur l'homme, plus sobre encore sur la vie intime et la vie religieuse ; il a décrit le savant et fait connaître son œuvre.

Il fait d'abord connaître l'*œuvre écrite* du grand physicien et astronome. Cette œuvre, c'est d'abord cette prodigieuse quantité de mémoires, de notes, de communications, adressées aux recueils des nombreuses Académies et Sociétés savantes de tout pays dont il était membre, ou aux journaux scientifiques et aux revues d'Italie ou de l'étranger : riche et continuel apport de matériaux nouveaux à l'édifice que les savants de toutes les générations travaillent à construire. Il y a là plus de 800 publications, — c'est le chiffre qui résulte de la bibliographie dressée par le P. Sommervogel, — si l'on y joint les conférences ou *lezioni*, lorsqu'il lui arrivait de les publier, les Bulletins météorologiques et les Mémoires de son Observatoire, etc. Son œuvre, ce sont aussi des livres. Le vrai livre est celui qui instruit et qui fait penser, où le savant consigne le résultat définitif, autant qu'il le peut être, de ses observations et de ses expériences, et formule sa pensée. Le P. Secchi écrivit peu de livres, mais ceux qu'il écrivit firent date dans l'histoire de la science, et, composés avec un incomparable talent de vulgarisation élevée, avec un cachet de vie à toutes les pages, et parfois de ces élévations magnifiques de la pensée vers Dieu, que Képler, Newton, Leibnitz eussent approuvées, ces quelques livres valurent au jésuite astronome son immense réputation. Nommons principalement *l'Unité des forces physiques* (1864 et 1869), fruit d'une considérable érudition scientifique et d'un intense et profond travail de la pensée ; *le Soleil* (1870), son chef-d'œuvre, dont la deuxième édition (1875-1878) fut supérieurement jugée ici-même par le Professeur Philippe Gilbert ; enfin *les Étoiles,* ouvrage qui sortait de presse au moment où l'infatigable travailleur s'endormit du sommeil de la tombe.

Mais l'outil principal du physicien et de l'astronome n'est point la plume, sauf pour ses formules et ses calculs ; ce sont ses appareils, ses spectroscopes, ses lunettes. Mgr Maffi expose — et c'est l'objet presque unique de sa belle conférence —

que celle donnée par le P. Sommervogel. L'Abbé Moigno, dans son livre *Le P. Secchi,* Paris, 1879, ouvrage très précieux par les articles et notices sur le P. Secchi, sur son Observatoire, sur ses travaux, qui y sont réunis, reproduit la bibliographie donnée par le P. Sommervogel. Mgr Maffi ne nomme pas ces ouvrages de Pohle et de Moigno.

la carrière prodigieusement laborieuse et d'une merveilleuse fécondité de cet observateur incomparable que fut le P. Secchi. Brièvement, le conférencier trace d'abord l'histoire de sa vie : ses brillantes études au Collège des Jésuites à Reggio; son entrée dans la Compagnie de Jésus, le 3 novembre 1833, en toute la fraicheur de sa jeunesse, — *nella freschissima età di quindici anni* (nous empruntons ces expressions, non à Mgr Maffi, mais à la brève notice funèbre, donnée à la CIVILTA CATTOLICA en mars 1878 par le P. Ferrari, qui fut son astronome assistant); — sa formation au Collège Romain ; — ses débuts dans le professorat à Rome, puis à Lorette ; — l'exil, lors de la dispersion de Rome des Jésuites, amenée par les troubles politiques en mars 1848 ; — le séjour en Angleterre, au Collège de Stonyhurst, où le P. Weld dirige l'Observatoire et observe les taches solaires, puis aux États-Unis, au Collège de Georgetown, où le P. Curley le fait travailler avec lui à l'Observatoire ; — enfin, en 1849, le retour à Rome, où il est nommé Directeur de l'Observatoire du Collège Romain, succédant en ces fonctions au P. François de Vico, le célèbre « chasseur de comètes », et dès lors l'histoire du P. Secchi et l'histoire de l'Observatoire du Collège Romain ne font plus qu'un. Des dons généreux de plusieurs et la munificence de Pie IX permirent de bonne heure au P. Secchi de réaliser un projet conçu au milieu du siècle précédent par le célèbre jésuite Boscovich, qui fut Directeur lui aussi de l'Observatoire du Collège Romain : l'Observatoire ancien, illustré par les travaux de Clavius, était défectueux et défavorablement situé, et il s'agissait d'établir l'Observatoire définitif au-dessus du dôme de l'église Saint-Ignace. En octobre 1853, les constructions terminées et les nouveaux instruments d'Astronomie, de Magnétisme terrestre et de Météorologie installés, Pie IX inaugura solennellement le nouvel Observatoire. Nous ne résumerons pas ici l'exposé excellent et extrêmement instructif que le Cardinal Maffi fait ensuite des travaux du P. Secchi : Physique terrestre, Météorologie, Magnétisme terrestre, Astronomie physique ou étude du ciel par les lunettes, par la photographie et par la spectroscopie ; incidemment, le P. Secchi est appelé tantôt à exécuter des travaux de Géodésie — la mesure d'un arc de près de deux degrés sur la voie Appienne entre Rome et Rimini, — tantôt à étudier et à diriger l'établissement des phares sur les côtes de l'État Pontifical, tantôt à combiner et à exécuter des travaux d'irrigation dans la Campagne romaine ou des travaux de transport des eaux

potables, etc. Notre sèche énumération ne peut donner l'idée de l'intérêt qu'offre le tableau très vivant de ces immenses labeurs : on le sent tracé de main de maître, nous voulons dire de la main du Préfet de l'Observatoire pontifical du Vatican.

Est-il besoin de dire que cette Conférence de Reggio n'offre rien de lourd? Pour en écarter l'appareil scientifique trop sévère, le savant auteur rejette en une annexe, à la suite de la Conférence, les *Notes* très nombreuses et très documentées qui s'y rattachent : références aux sources, mises au point de problèmes qui, depuis le temps de Secchi, ont progressé ou évolué, renvois aux maîtres actuels de la science pour les questions toutes neuves, etc. Nous remercions l'Éminentissime Cardinal d'avoir, dans ces Notes, fréquemment honoré la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES de ses références.

Notre intention, dans les pages présentes, n'était point d'esquisser, même brièvement, la vie et l'œuvre du P. Secchi, — cette esquisse ayant été faite en cette REVUE même, en 1878, par le P. Van Tricht avec le talent et la science que l'on sait, — mais de faire connaître au lecteur la solennelle *Commemorazione* de Reggio et le discours dont Mgr Maffi a honoré la mémoire du jésuite astronome.

Avant de prendre congé du savant conférencier, disons quelles sont, dans cette Conférence de Reggio, les deux pages qui nous ont plu entre toutes.

La première de ces deux pages est celle-là même qui ouvre le savant discours de Mgr Maffi : elle en constitue le brillant exorde. C'était au temps du Concile du Vatican. Quelques Prélats vinrent prier le P. Secchi, conférencier sans égal, de leur donner, au jour et à l'heure choisis par eux-mêmes, une « classe d'Astronomie ». L'heure venue, on fut plus de trois cents auditeurs, les uns Évêques ou Cardinaux, les autres Théologiens ou Prélats.

Le P. Secchi domina une première émotion, et durant deux heures parla de son sujet favori, le Soleil, — *Sol, vas admirabile, opus Excelsi,* « Le Soleil, cet outil merveilleux du Très-» Haut, ce chef-d'œuvre de ses mains ». — Jamais professeur n'eut des disciples plus attentifs, ni qui lui marquèrent plus de gratitude. Nous avons entendu raconter que le bon et vénéré Pie IX, qui aimait « son » Observatoire du Collège Romain et honorait d'une paternelle bonté son cher fils Secchi, prit un très vif plaisir à se faire raconter en détail l'histoire de cette « classe d'Astronomie ».

Le P. Van Tricht, à qui Mgr Maffi a emprunté le fait précédent, rappelle que deux siècles auparavant, devant un auditoire tout pareil de Cardinaux et d'Évêques, réunis en ce même Collège Romain, un Belge, le P. Odon Van Maelcote, développa brillamment les premières découvertes que l'usage du télescope venait de mettre en lumière, relativement aux lunes de Jupiter, à l'anneau de Saturne, aux phases de Vénus, aux taches de la Lune, etc. Au premier rang de l'assemblée était assis, au milieu de ces nobles personnes, l'auteur même de ces découvertes, « Galileo Galilei » (1).

La seconde page que nous indiquerons, est une page de deuil et qui clôt la Conférence de Mgr Maffi : c'est le récit des derniers jours de vie du P. Secchi.

Mais avant de résumer cette page, l'Éminentissime conférencier nous permettra d'insérer ici, en l'empruntant non à son beau discours de Reggio, mais aux archives de la SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE, une pièce infiniment et tristement précieuse. C'était en octobre 1876, seize mois avant la mort du P. Secchi. Le mal qui devait l'emporter commençait à l'étreindre : une espèce de prostration physique générale, que les uns attribuaient à l'excès d'un travail sans mesure et sans relâche, et que d'autres, ses intimes, savaient due en partie aux amertumes de la persécution qui sévissait contre l'Église, contre le Souverain Pontife et contre la Compagnie de Jésus. A Bruxelles allait s'ouvrir la session générale de la SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE : le P. Secchi avait promis d'y assister et de résumer, en une conférence très attendue, quelques-unes de ses dernières recherches. Voici quelle fut sa lettre d'excuse, adressée au Secrétaire de la Société, — le P. Carbonnelle : — « Vous ne sauriez croire combien j'étais reconnaissant » de l'invitation que la Société m'avait faite, et combien haut » j'estimais cet honneur. Mais la défense des médecins est for- » melle et je dois leur obéir, non pas que ma vie soit si précieuse » ou que je désire la voir se prolonger longtemps. Oh ! non ! le » triste spectacle des événements que je vois ici de mes yeux » n'est pas de nature à m'inspirer ce désir... Mais un fil d'espé-

(1) Voyez dans l'article cité du P. Van Tricht, p. 397, la lettre latine du P. Grégoire de Saint-Vincent, datée de Rome, 23 juillet 1611, et racontant tous les détails de ce fait. Le P. Grégoire de Saint-Vincent termine en offrant d'envoyer à son correspondant, jésuite belge, quelques-unes de ces lunettes tout récemment inventées, *specilla oblonga*, que les jeunes jésuites du Collège Romain construisent eux-mêmes, *illa nos ipsi, Mathesis studiosi, construimus*.

» rance se rattache à ma pauvre existence. Nous avons tant perdu » dans Rome qu'on craint d'y perdre, avec moi, la *seule chose* » qu'on nous ait laissée. » — Cette seule chose était l'Observatoire du Collège Romain. En 1873, le Gouvernement italien, qui s'était installé depuis trois ans dans la ville des Papes, avait éliminé de Rome les jésuites et confisqué le Collège Romain ; mais il avait excepté, momentanément, de cette spoliation l'Observatoire et ses appareils et en avait commis la garde au P. Secchi et à ses aides. Le Gouvernement avait craint de soulever, en expulsant de cet Observatoire le trop illustre astronome, une trop violente réprobation dans l'Europe savante, et jugea nécessaire de tenir compte du *ne fiat tumultus in populo* de l'Évangile : le jésuite astronome était âgé et semblait malade, on pouvait attendre (1). — Lorsqu'on publia, du célèbre physicien André-Marie Ampère, les écrits intimes intitulés *Journal et Correspondance*, Philippe Gilbert écrivit dans la REVUE CATHOLIQUE de Louvain, en 1873, une analyse de ce livre et l'intitula *Le cœur d'un savant :* nous n'avons jamais su lire sans émotion ni ces écrits d'Ampère, ni cet opuscule de notre regretté maître.

(1) Une discrète réserve, que l'on comprend, a obligé le Cardinal Mafli à ne faire point d'allusion aux amertumes qui, plus que la maladie elle-même, abrégèrent la vie du P. Secchi.

Voyez, à propos de la lettre du P. Secchi au P. Carbonnelle en 1876, un article (dû peut-être au P. Ferrari, ancien compagnon de travail du P. Secchi) dans la CIVILTA CATTOLICA, août 1881, pp. 580-589, au sujet d'un regrettable ouvrage de G. Manuelli, *Sulla vita e le opere del P. Angelo Secchi*, Reggio, 1881 ; lizez-y, pp. 554-585, une lettre du 16 avril 1873, où le P. Secchi exprime à un confrère ses douleurs et ses angoisses en ces jours de persécution. Exprimons ici le regret que les précieux mémoires rédigés par le P. Secchi durant les vingt dernières années (d'après la CIVILTA, *loco cit.*, p. 581) soient restés inédits : certes, les difficultés des temps ont rendu délicate et même impossible cette publication, mais nous y avons perdu des documents qui nous eussent fait connaître le P. Secchi infiniment mieux encore que nous ne le connaissons, et non seulement le savant, mais surtout l'homme et sa vie intime et religieuse, ses craintes et ses douleurs, ses espérances et ses consolations.

Au lendemain de la mort du P. Secchi, le Gouvernement consomma la spoliation : il élimina de l'Observatoire son compagnon, le P. Ferrari, et installa à cet Observatoire et à ces appareils du Collège Romain l'astronome de Palerme, Paul Tacchini. La REVUE SCIENTIFIQUE de Paris l'appela par distraction, deux ans durant, *le P. Tacchini*, chose qui dut lui être assez désagréable, mais qui (nous l'avouons) nous amusait fort ; les COMPTES RENDUS de l'Académie firent souvent de même : gentilles petites méchancetés qu'on se permet entre savants ; ni le loyal et spirituel Joseph Bertrand, ni le sage et bon Jean-Baptiste Dumas n'étaient hommes à désapprouver celle-là.

Or, il existe du P. Secchi un journal qu'il écrivit durant le cours des vingt dernières années de sa vie et est resté inédit : nous avons souvent souhaité que quelqu'un de ses confrères de Rome nous en donnât des extraits, les plus larges possibles, et y joignît quelques-unes de ses lettres, surtout de ses lettres à ses confrères : on aurait eu ainsi, de nouveau, une image complète et achevée d' « un cœur de savant ».

Mais il est temps de clore cette trop longue parenthèse et de revenir à la Conférence de Mgr Maffi. Voici les principaux traits de la page finale où sont racontés les derniers jours ici-bas du jésuite romain. Le P. Secchi, le vaillant ouvrier, est arrivé, prématurément, à l'extrême soir de sa vie : les astronomes Santini, Heis et Le Verrier viennent d'entrer dans l'éternité, un télégramme annonce au P. Secchi la mort de Littrow : le P. Secchi commente doucement cette dernière nouvelle par ces mots : *Ora tocca a me*, « Mon heure va sonner ». Bientôt, Pie IX, qu'il a tant aimé et si bien servi, s'endort dans la mort, le précédant de bien peu de jours. Quand l'heure est, en effet, arrivée pour lui-même, le P. Secchi, oubliant les longues amertumes de ses dernières années, dit avec son ordinaire douceur : *Muoio contento*, « Je meurs content ». Il meurt le 26 février 1878, à 7 heures du soir. — Mgr Maffi et, avant lui, le P. Van Tricht, ont raconté les funérailles de l'illustre astronome, célébrées dans l'église Saint-Ignace. Elles furent d'une émouvante humilité religieuse : mais sous cet appareil funèbre des pauvres, « ce pauvre corps reposait entre les quatre » piliers de la coupole et, comme une couronne glorieuse jetée » dans les airs, l'Observatoire qu'il avait fondé, qu'il avait illus- » tré, où il avait usé sa vie et auquel il léguait son nom, couvrait » son cercueil ».

L.

BIBLIOGRAPHIE

I

Théorie des erreurs d'observation et éléments du calcul des probabilités. Applications de cette Théorie et de ce Calcul à diverses Questions pratiques, principalement à la Compensation des Erreurs dans les Levés topographiques et au Tir de l'Artillerie, par P. J. E. Goedseels, Administrateur-Inspecteur de l'Observatoire royal et de l'Institut météorologique royal de Belgique, Professeur à l'Université catholique de Louvain. Quatrième édition. Un vol. in-8° de viii-368 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1914.

Cette quatrième édition de l'ouvrage de M. Goedseels sur la Théorie des Erreurs ne ressemble que par quelques pages à l'édition précédente. C'est un livre nouveau, dans lequel un esprit profond et original a réuni les fruits de longues années de réflexion sur un sujet dont l'importance dans tous les domaines scientifiques s'avère de plus en plus.

La Théorie des Erreurs d'observation est généralement considérée comme une application du Calcul des Probabilités : les valeurs que l'on cherche à déduire des quantités sur lesquelles ont porté, directement ou indirectement, les observations, sont, classiquement, *les valeurs les plus probables* de ces quantités. Au contraire, l'enseignement de M. Goedseels porte principalement sur la recherche des *valeurs les plus approximatives* des grandeurs physiques. Le fondement de cette recherche consiste dans la considération, relative à chaque observation, de la *partie aliquote minimum* et de l'*approximation* du résultat numérique de cette observation. La partie aliquote minimum est la moindre fraction de l'unité que les circonstances matérielles de l'observation permettent de distinguer de zéro, de sorte que le résultat numérique de cette observation ne peut être qu'un multiple de la partie aliquote minimum. L'approxi-

mation d'une mesure est la plus grande erreur absolue possible de cette mesure. L'existence de ces grandeurs est indubitable, et leur introduction extrêmement naturelle.

Une série d'observations relatives à un groupe d'inconnues physiques se traduit par un système d'équations entre ces inconnues, et dont le nombre est généralement plus élevé que le nombre d'inconnues. Les erreurs inévitables d'observation empêchent ces équations d'être compatibles. Pour retrouver leur compatibilité, il faut introduire dans chacune d'elles un terme inconnu, un *résidu*, qui devra rester compris dans un certain intervalle défini par l'approximation correspondante. On se trouve ainsi en présence d'un système d'équations et d'inéquations dont les diverses méthodes de résolution (soit rigoureuses, soit partiellement conventionnelles) constituent la Théorie des Erreurs proprement dite.

Ces notions sont présentées dans une *première partie* intitulée *Considérations générales*. Le chapitre sur les *Erreurs d'observation* (ch. Ier) renferme une fine analyse des causes de ces erreurs, avec un paragraphe particulièrement intéressant sur les *erreurs fictives d'observation*, celles dont on convient (mais tacitement le plus souvent) de rendre responsables les observations, alors qu'elles sont imputables aux hypothèses qui ont déterminé la forme des équations entre les inconnues (1).

La première partie se termine par un intéressant *historique de la Théorie des Erreurs* (ch. V). On y voit le peu de confiance que Gauss lui-même, son créateur, avait dans la méthode des moindres carrés : des extraits de sa correspondance sont tout à fait édifiants à ce sujet.

Une *deuxième partie* expose les *méthodes indépendantes des probabilités*. Les méthodes purement algébriques consistent dans la résolution rigoureuse du système d'équations et d'inéquations (ch. VI) dont l'existence a été démontrée dans les considérations générales. Il faut distinguer deux cas, suivant que les

(1) Au chapitre sur les *parties aliquotes minima* (ch. II), M. Goedseels exprime sa satisfaction de pouvoir reproduire des extraits de quelques ouvrages qui corroborent ses idées sur ce sujet ; je suis heureux de pouvoir signaler la même adhésion dans un article récent de M. H. Bourget (BULLETIN ASTRONOMIQUE, t. XXXII, 1915), *Sur les nombres provenant de mesures* : «... dans la *pratique réelle* de la mesure des grandeurs, ... l'opération est vite arrêtée par l'imperfection de nos sens et celle des instruments de mesure. Elle donne un résultat n'ayant qu'un nombre très limité de figures. Ces quelques chiffres sont, en réalité, tout ce que nous savons de précis sur la grandeur mesurée ».

approximations des observations font ou ne font pas partie des données du problème. Dans le premier cas, la résolution de ce système fournit les limites de l'intervalle des *valeurs possibles,* comme disait l'auteur dans une édition précédente. Si l'observateur ne s'est pas fait illusion sur la précision de ses observations, si l'approximation qu'il a proposée permet de rendre compatibles les équations traitées, la *méthode la plus approximative* (ch. VII) consiste dans le choix, pour chaque inconnue, de la demi-somme des limites de l'intervalle correspondant : c'est cette valeur, en effet, qui a la moindre approximation. — Si l'observateur s'est refusé à donner les approximations de ses observations, s'il n'a pu estimer, sous la forme de leurs rapports, que les approximations relatives, on est contraint de considérer l'une des approximations comme une inconnue supplémentaire. Cette inconnue ne peut admettre, par nature, qu'une limite inférieure, et la *méthode de l'approximation minimum* (ch. IX) consiste à admettre, pour valeur de l'approximation, cette limite inférieure.

La *méthode quadratique la plus approximative* (ch. X et XI) est une résolution conventionnelle du système d'équations et d'inéquations. La convention qu'elle applique substitue à l'approximation proprement dite une expression, dite *approximation quadratique,* et dont la valeur, toutes autres choses égales, ne peut être qu'égale ou (généralement) supérieure à l'approximation proprement dite. On voit le danger d'un pareil élargissement des intervalles possibles ; son excuse se trouve dans la diminution des calculs extrêmement longs propres aux méthodes précédentes, et dans la possibilité d'un développement algébrique, jusqu'aux expressions des valeurs finales. On constate ainsi que ces valeurs finales coïncident avec les résultats de la méthode classique des moindres carrés.

Les *méthodes successives,* qui sont exposées dans la même partie (ch. VIII et XII), ont pour objet la recherche des coefficients des équations par lesquelles les praticiens (physiciens, astronomes, ingénieurs, biologistes, physiologistes) cherchent à exprimer empiriquement les lois des phénomènes, d'une manière aussi simple qu'il est possible, eu égard à l'approximation qu'ils s'imposent. Cette recherche comporte des *essais successifs,* jusqu'à ce que les coefficients soient assez nombreux pour que, dans cette approximation, les résultats des observations puissent être rendus compatibles : les méthodes successives, la plus approximative, ou la méthode quadratique, sont

des dispositions des calculs telles que, dans chaque essai, on puisse utiliser les résultats de l'essai précédent.

Les derniers chapitres de la deuxième partie étudient les *méthodes empiriques de Tobie Mayer et de Cauchy* (ch. XIII et XIV), d'après divers mémoires publiés par l'auteur dans les ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES.

La *troisième partie* est consacrée au *Calcul des probabilités* et à l'*application de ce calcul à la Théorie des Erreurs*.

La *définition* de la probabilité (ch. XVI) se soustrait à toute critique, car elle suppose l'assimilabilité de l'événement considéré à l'extraction d'un numéro parmi les numéros d'une urne, et cette assimilabilité fait partie des données du problème ; c'est, rendue immédiatement applicable, la définition de Peano : où Peano dit *classe,* M. Goedseels dit *numéros que renferme une urne.*

Les principes relatifs aux *probabilités totales* et aux *probabilités composées* (ch. XVIII et XXVIII) sont exprimés et démontrés d'après cette définition de la probabilité. Leurs applications se font au moyen d'une analyse combinatoire (ch. XXI à XXVI) où il faut se réjouir de voir une large place faite aux arrangements et combinaisons *par groupes désignés.*

L'auteur a apporté un soin extrême aux principes relatifs aux *courbes de probabilité* (ch. XIX). Du point de vue actuel, la composition d'une urne est définie par la partie aliquote minimum des numéros qu'elle renferme, par son approximation, et par sa courbe de probabilité ; on sent que cette définition d'une urne prépare aux applications du Calcul des Probabilités à la Théorie des Erreurs. Inversement, la composition d'une urne étant connue, et la *forme* de sa courbe de probabilité, quelles sont les valeurs les plus avantageuses des coefficients de l'équation de cette courbe ? Un chapitre est consacré au cas particulier de la *courbe exponentielle* (ch. XX), à laquelle les praticiens attachent une importance spéciale.

D'après les définitions de l'auteur, la *cause* d'un événement signifie la composition de l'urne à l'extraction d'un numéro de laquelle l'événement est assimilé. Dès lors, un événement pouvant arriver en vertu de diverses causes, demander la probabilité pour que l'événement arrive en vertu d'une cause déterminée, équivaut à poser la question suivante (ch. XXIX) : un numéro pouvant être tiré d'une urne appartenant à diverses catégories, quelle est la probabilité qu'il soit tiré d'une urne appartenant à telle catégorie ?

De chapitre en chapitre, le lecteur aperçoit de mieux en mieux l'unité essentielle qui règne dans tout cet ouvrage : ce sont les notions d'approximation et de partie aliquote minimum des urnes ou *causes possibles* des événements, qui vont nous faire retrouver, dans le chapitre consacré à la *probabilité des causes* (ch. XXX), la *Théorie des Erreurs* en tant que recherche des valeurs *les plus probables* des grandeurs physiques. — Un événement est survenu ; quelles sont ses causes possibles ? Quelle est la probabilité d'une cause quelconque ? Quelle est la cause la plus probable ? — C'est-à-dire : un numéro a été tiré d'une urne ; quelles sont les compositions possibles de cette urne ? Quelle est la probabilité de telle composition ? Quelle est la composition la plus probable ?

Inversement, voici les applications qui, transposées dans le domaine des observations physiques, constituent l'application du Calcul des Probabilités à la Théorie des Erreurs.

1. On propose *une urne* par sa partie aliquote minimum, son approximation, la *famille de courbes* à un paramètre à laquelle appartient sa courbe de probabilité ; on extrait *un numéro ;* quelle est la valeur la plus probable du paramètre ? — C'est-à-dire : on connaît les circonstances d'une *mesure physique* (la partie aliquote minimum, l'approximation, la forme, à un paramètre près, de la loi de probabilité des erreurs) ; on effectue une mesure ; quelle est la valeur la plus probable de la grandeur mesurée ?

2. On propose *une urne ;* on extrait *plusieurs numéros ;* quelle est la valeur la plus probable du paramètre inconnu de la courbe de probabilité ? — C'est-à-dire : on connaît les circonstances de la mesure d'une même grandeur ; on effectue plusieurs mesures dans ces mêmes circonstances ; quelles sont les valeurs les plus probables de la grandeur mesurée ?

3. On propose *plusieurs urnes,* dont les courbes de probabilité dépendent d'*un paramètre commun* inconnu ; on extrait *un numéro* de chaque urne ; quelle est la valeur la plus probable du paramètre inconnu ? — C'est-à-dire : on connaît les circonstances de diverses mesures d'une même grandeur ; on effectue une mesure dans chacune de ces circonstances ; quelle est la valeur la plus probable de la grandeur mesurée ?

4. On propose *plusieurs urnes,* dont les courbes de probabilité dépendent de *paramètres distincts,* inconnus, mais liés de façon qu'ils soient déterminés pour chaque groupe de valeurs numériques données à *trois inconnues indépendantes* (par

exemple) ; on tire *un numéro* de chaque urne ; quelles sont les valeurs les plus probables de ces inconnues indépendantes ? — C'est-à-dire : on connaît les circonstances de plusieurs observations, dont chacune a pour objet direct la mesure d'une grandeur distincte, et pour objet indirect la mesure de (par exemple) trois inconnues indépendantes dont les inconnues immédiatement accessibles sont des fonctions ; on fait chacune de ces observations ; quelles sont les valeurs les plus probables des inconnues finales ?

Voilà bien, dans toute sa généralité, la recherche des résultats les plus probables des observations. — Dans le cas particulier, habituel aux praticiens, des courbes de probabilité exponentielles, ces quatre problèmes retrouvent les solutions du problème des moindres carrés. Mais qu'on se garde bien de les appliquer telles quelles ! Appartiennent-elles aux intervalles des valeurs possibles ? Legendre seul, avant M. Goedseels, s'est posé cette question, et les praticiens ne s'en soucient guère. Mais M. Goedseels insiste et montre tout le danger de cette indifférence (1). L'exposé du Calcul des Probabilités se complète par le théorème de Poisson sur les *modifications inconnues* que subiraient les urnes (ch. XXXI), et par le théorème de J. Bernoulli sur les *épreuves répétées* (ch. XXXII).

Un Appendice groupe les *applications* les plus importantes

(1) De l'article de M. H. Bourget cité ci-dessus, j'extrais encore les lignes suivantes : « Dans cette analyse, on peut invoquer bien des raisons, en particulier celles tirées de la théorie des erreurs basée sur le calcul des probabilités, si l'observateur n'a pas déjà perdu la foi en de semblables considérations. On sait que la théorie de Gauss n'est applicable qu'à certaines conditions et qu'il est bien difficile, sinon impossible, de reconnaître, *a priori*, si ces conditions sont satisfaites ». — Voir aussi dans un article récent de M. Boccardi (*Science germanique et Science latine*, Revue générale des Sciences, 1916, p. 235) l'histoire de mécomptes sensationnels dus à l'application imprudente de la méthode des moindres carrés. M. Boccardi fait dans cet article le procès de la Théorie des Erreurs, mais on voit aisément qu'il s'agit de cette théorie limitée à la méthode des moindres carrés appliquée, précisément, sans les précautions que recommande M. Goedseels. Celui-ci écrit, à propos de ces mécomptes : « L'avenir peut apprendre que les observateurs ont exagéré la précision de leurs travaux, ou bien que les hypothèses scientifiques sur lesquelles on s'est basé... sont fausses. Mais les déceptions résultant de ces causes ne peuvent évidemment être imputées à la théorie des erreurs. — Penser autrement serait aussi peu logique que de reprocher à l'algèbre de manquer de rigueur, parce qu'un marchand qui aurait mélangé 200 litres de vin à 1 fr., et 200 litres de vin à 1,50 fr., aurait obtenu un mauvais breuvage au lieu d'un vin susceptible d'être vendu à 1,25 fr. le litre. »

du Calcul des Probabilités et de la Théorie des Erreurs : 1. Valeurs les plus probables des inconnues physiques. — 2. Compensation des erreurs dans les levés topographiques. — 3. Détermination des erreurs des cercles gradués et des vis micrométriques. — 4. Opérations financières. — 5. Jeux de hasard. — 6. Tir de l'artillerie. — On retrouve, dans chacune de ces études, la méthode ferme et sûre qu'on aura admirée dans les autres parties de cet ouvrage. L'attention doit être particulièrement attirée sur les applications 2 et 6.

Le beau livre de M. Goedseels est riche en enseignements. Chacune de ses pages est objet de réflexion. A sa lecture, l'esprit sent se préciser bien des idées, et se dissiper cette sorte de malaise auquel il est difficile de se soustraire dans l'étude de la Théorie des Erreurs sous sa forme habituelle.

M. Alliaume.

II

Leçons de calcul des probabilités *faites à l'Université de Gand de 1846 à 1890 par* E.-J. Boudin, *publiées avec des notes et des additions par* Paul Mansion, Professeur à l'Université de Gand, Membre de l'Académie royale de Belgique, etc. Un volume in-8° de xvi-334 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1916.

Le regretté professeur de l'Université de Gand, P. Mansion, a rendu un service considérable à l'enseignement des mathématiques en publiant les *Leçons* de Boudin sur le Calcul des Probabilités, dont les quatre éditions autographiées, de 1865 à 1889, avaient été réservées aux élèves de l'Université. Mais c'est vraiment un ouvrage nouveau, et dont la valeur s'est extrêmement accrue, qu'en ont fait les additions nombreuses et étendues de P. Mansion. Après une courte biographie de Boudin, la préface fait connaître ces additions. Nous les rencontrerons au cours de cette analyse.

Une *Introduction* de quelques pages est consacrée à la *définition de la probabilité*. Boudin distingue, comme il est classique, la *probabilité morale* et la *probabilité mathématique* : celle-là, raison que l'on a de croire ou de ne pas croire à l'arrivée d'un événement; celle-ci, expression numérique qui mesure la probabilité morale. Dès lors le *principe fondamental* consiste dans le choix de cette expression. Que l'expression choisie, rapport du

nombre de cas favorables à l'arrivée de l'événement au nombre total des cas également possibles, mesure la probabilité morale, une première démonstration en est faite d'après Laplace. P. Mansion ajoute la démonstration de Poisson, à cause de sa plus grande clarté. Mais ces raisonnements, tout utiles qu'ils sont pour montrer combien il est naturel d'admettre cette expression de préférence à toute autre, ont-ils vraiment valeur démonstrative, et ne serait-il pas plus simple et plus prudent de présenter cette expression comme une *définition* de la probabilité mathématique, non certes arbitraire et indépendante de l'idée que l'on peut se faire sur les chances d'arrivée d'un événement, mais à laquelle une démonstration proprement dite n'a pas l'occasion de s'appliquer ? Cette définition, encore, renferme une difficulté : elle suppose l'évaluation du nombre de cas également possibles, ou également vraisemblables ; Borel dit carrément : également probables ; et chacune de ces façons de s'exprimer suppose déjà la notion de probabilité. La première des *notes* ajoutées à l'ouvrage s'occupe de cette difficulté, et l'écarte en adoptant la définition symbolique de Peano. Au langage près, cette définition équivaut à la définition que donne M. Goedseels dans son livre récent sur la *Théorie des Erreurs et les Éléments du Calcul des Probabilités.*

L'ouvrage de Boudin-Mansion comporte une première partie consacrée aux *Principes généraux du calcul des chances,* et une deuxième où sont exposées les *Applications du Calcul des Probabilités.*

La *première partie* est intéressante surtout par les additions dans lesquelles P. Mansion fait une étude approfondie du théorème de J. Bernoulli sur les épreuves répétées et de la loi des grands nombres de Poisson. Arrêtons-nous aux *probabilités continues.* Sous le titre de *chances continues* (p. 10) cette notion est introduite par Boudin sans que celui-ci signale les difficultés qu'elle suscite. Mais voici une heureuse addition de P. Mansion (p. 15) : « *par définition,* tout problème relatif aux probabilités continues doit être regardé comme la limite d'un problème où le nombre de cas favorables et celui des cas possibles peuvent croître indéfiniment ». — Ne sommes-nous pas dès lors en présence, non d'une extension de la notion de probabilité, mais d'un artifice par lequel le mathématicien permet la substitution d'intégrales à des sommes de nombreuses quantités petites ? Mais s'il en est ainsi, ce n'est qu'en vue d'une plus grande facilité des calculs, et non en toute rigueur, que l'on doit parler

d'une probabilité comprise entre deux limites, *entre lesquelles elle peut varier d'une manière continue,* et les *probabilités incertaines* (p. 77) se ramènent aux probabilités d'événements *en vertu de l'une quelconque de causes* déterminées et *également possibles.*

Au chapitre des épreuves répétées (p. 24), trois additions de P. Mansion : épreuves répétées où la probabilité des événements simples varie à chaque épreuve (p. 37) ; — calcul de la limite supérieure de la probabilité que, sur μ épreuves, l'événement dont la probabilité simple est p arrive au moins m fois (p. 39), et dont une meilleure valeur, due à M. de la Vallée Poussin, est donnée dans la note IV (p. 252) de la fin de l'ouvrage ; — théorème de Poisson sur la probabilité des événements dont les causes subissent des modifications inconnues (p. 43).

Le chapitre relatif au théorème de Bernoulli et à la loi des grands nombres est un remaniement profond du texte de Boudin ; il est rédigé d'après les importants travaux de P. Mansion publiés dans les Bulletins de l'Académie royale de Belgique et dans les Annales de la Société scientifique de Bruxelles.

Les pages consacrées à la probabilité des causes distinguent deux cas, suivant que le nombre des hypothèses, c'est-à-dire des causes possibles, est limité ou illimité. Le deuxième cas rencontre les mêmes difficultés que les probabilités continues et ces difficultés pourraient, sans doute, être évitées de la même manière.

Les *applications* groupées dans la *deuxième partie* sont les jeux de hasard (chap. I et II), les questions relatives à la durée de la vie humaine (chap. III et IV), et la théorie des erreurs d'observation (chap. V, VI, VII et supplémentaire).

A propos des jeux de hasard, P. Mansion a ajouté le théorème impressionnant sur la ruine du joueur, même favorisé (p. 103), et n'a pas cherché à défendre contre les critiques de Boudin l'hypothèse de l'espérance mathématique de J. Bernoulli. Les probabilités de la vie humaine, avec leurs applications essentielles aux rentes viagères et aux assurances, sont exposées d'une manière particulièrement nette et claire, et accompagnées d'une documentation intéressante et rajeunie.

Les questions relatives à la théorie des erreurs débutent par une étude des *lois de probabilité.* Comme il est classique, c'est la *loi de probabilité exponentielle* qui est adoptée pour les erreurs accidentelles d'observation. On sait que tout essai de

démonstration ne peut guère que remplacer une hypothèse par une autre. Mais, après une pareille tentative de Boudin (d'après Hagen) (p. 154), quelques lignes de P. Mansion renversent les termes et suppriment la difficulté. « Au fond, écrit-il, les considérations précédentes peuvent se résumer ainsi : *On appelle* erreurs *accidentelles* celles dont la loi de probabilité est [exponentielle] ». Mais alors peut-on encore, dans les applications, traiter comme on le fait les erreurs *non accidentelles ?* Oui, mais au nom de la seule expérience : « La théorie des erreurs accidentelles basée sur cette définition, appliquée dans les sciences d'observation, ... a rendu des services tels qu'il semble raisonnable d'admettre que la définition répond souvent à une réalité objective ».

Un titre annonce la *détermination du résultat le plus exact déduit de plusieurs observations* (p. 157). On voit bientôt qu'il s'agit du résultat *le plus probable* pour des erreurs accidentelles définies comme il vient d'être dit : c'est la méthode des moindres carrés, avec une critique de la méthode la plus approximative (appelée première méthode de Laplace, p. 161) : « ce système doit le plus souvent être repoussé, puisqu'il conduirait à n'employer que les deux observations que l'on a le plus raison de croire inexactes ». N'est-ce pas raisonner comme si à chaque mesure ne correspondait pas un autre nombre, l'*approximation* de cette mesure ? La demi-somme des valeurs extrêmes est la valeur finale de la méthode critiquée ici lorsque les approximations de toutes les mesures sont les mêmes. Mais alors ces valeurs extrêmes ne sont pas, par hypothèse, plus suspectes que les autres. — C'est à cette hypothèse implicite des approximations égales que la méthode de Laplace doit sa faiblesse : cette hypothèse écartée, elle se transforme dans la méthode la plus approximative ou dans la méthode de l'approximation minimum de M. Goedseels. Les travaux de M. Goedseels sont signalés avec éloge dans le beau chapitre (supplémentaire) sur la *théorie algébrique des moindres carrés* par lequel se termine la deuxième partie (p. 197). P. Mansion n'a pas pu signaler la dernière édition de l'ouvrage de son collègue de l'Université de Louvain, dont l'impression avait été arrêtée par l'invasion ennemie et dans laquelle les méthodes nouvelles ont pris leur forme définitive.

Chacun des chapitres renferme un grand nombre d'exemples. Les auteurs ne s'en sont pas contentés : voici encore (pp. 207-240) un précieux recueil de 71 problèmes, avec leurs solutions, se succédant dans l'ordre des matières de l'ouvrage.

Nous avons déjà signalé quelques-unes des dix *notes* ajoutées par P. Mansion. Les autres sont analytiques, sauf les trois dernières : note VIII (p. 275), l'avantage du banquier au jeu de baccara ; note IX (p. 279), sur le théorème de Laplace relatif aux moyennes ; note X (p. 282), notice historique et critique sur la théorie des erreurs.

Enfin, en *Appendice* (pp. 291-322), le beau discours que P. Mansion prononça en 1903, en séance publique de la Classe des Sciences de l'Académie royale, *sur la portée objective du Calcul des Probabilités*.

Ainsi, c'est d'un livre d'une science ferme et achevée, doublée d'une admirable érudition, que l'éminent mathématicien belge, dans son dernier grand travail, a enrichi la toute petite bibliothèque des bons ouvrages généraux sur le Calcul des Probabilités.

M. Alliaume.

III

Traité des courbes spéciales remarquables planes et gauches, par F. Gomes Teixeira. Tome III (supplément). Un volume grand in-4° de VIII et 425 pages. — Coïmbre, Imprimerie de l'Université, 1915.

Le 3e volume du *Traité des Courbes spéciales remarquables* du Recteur de l'Université de Porto forme en même temps le 7e volume de ses *Obras sobre Mathematica publicadas por orden do Governo Portuguès*. J'ai rendu compte dans la Revue des deux premiers volumes du *Traité* (t. 65, 1909, pp. 274-277 ; t. 66, 1909, pp. 579-582) ; le troisième volume est écrit dans le même esprit et possède les mêmes qualités que les précédents, dont il forme un supplément.

« Nous revenons sur quelques-unes des courbes considérées dans cet ouvrage, dit l'auteur, pour ajouter de nouveaux développements à leur théorie, histoire et bibliographie, et nous exposons les théories de bien d'autres courbes remarquables qui n'ont pas été envisagées dans les volumes précédents.

» Parmi les pièces qui forment ce volume, on trouve la reproduction de quelques travaux sur les courbes spéciales que nous avons insérés dans divers recueils scientifiques après la publication de l'ouvrage mentionné. »

Les travaux réédités ici, dont, après ce début, M. Gomes Teixeira donne la liste complète, sont au nombre de 25, mais le

savant portugais en ajoute beaucoup d'autres, qui voient le jour pour la première fois.

Le volume se termine par un *Appendice* consacré aux problèmes fameux de la Géométrie élémentaire qu'on ne peut résoudre avec la règle et le compas. Les solutions de ces problèmes ont été obtenues au moyen de diverses courbes célèbres et leur histoire se rattache étroitement à celle de ces courbes.

Voilà le plan général de l'ouvrage. Mais, pour donner une idée de la richesse et de la variété des questions étudiées dans le *Traité des Courbes remarquables*, rien ne vaut mieux que de résumer la Table des Matières comme je l'ai fait pour les deux premiers volumes.

Ch. I. *Sur quelques Courbes algébriques.* — 1. Une propriété des cissoïdes et une généralisation de ces courbes. — 2. Strophoïde. — 3. Les recherches de Mac Laurin sur les cubiques circulaires. — 4. Folium de Descartes et construction d'une classe de cubiques unicursales. — 5. Développoïde de la parabole du 2[1] ordre. — 6. L'hyperbole du 3e ordre et les cubiques à trois asymptotes inflexionnelles concourantes. — 7. Quelques propriétés des cubiques. — 8. Une propriété de la lemniscate de Bernoulli. — 9. Limaçon de Pascal. Courbes isoptiques et orthoptiques. — 10. Conchoïde de Dürer. — 11. Transformées des cercles et de la luxodromie dans le système de projection azimutale équivalente de Lambert. — 12. Une quartique considérée par Loriga. — 13. Quartiques de Klein et de Dyck. — 15. Développoïdes de l'ellipse. Aperçu de la théorie générale des développoïdes. — 16. Radiales des coniques. — 17. Quelques courbes qui figurent dans la théorie du quadrilatère articulé.

Chap. II. *Sur quelques courbes transcendantes.* — 1. Notions générales. — 2. Spirale logarithmique. — 3. Spirales paraboliques et hyperboliques. — 4. Pseudo-spirales. Développantes du cercle. Clothoïde. — 5. Alysoïde. Chaînette et pseudo-chaînette. Tractrice et pseudo-tractrice. — 6. Courbes de Sumner. — 7. Courbes de Mannheim des coniques. — 8. Sur les recherches de Delaunay. Sur les anti-radiales des cercles.

Chap. III. *Sur quelques classes de courbes.* — 1. Courbes anharmoniques. Paraboles et hyperboles. — 2. Sur les arcs des paraboles et des hyperboles. — 3. Trajectoires des paraboles, des hyperboles et de leurs courbes inverses. — 4. Courbes de Newton. Courbes de Turière. — 5. Épicycloïdes et hypocycloïdes.

— 6. Courbes à développée intermédiaire circulaire. — 7. Spirales sinusoïdes et courbes de Ribaucour. — 8. Généralisation des spirales sinusoïdes. — 9. Les causticoïdes de la spirale logarithmique. — 10. Courbes de Clairaut. — 11. Courbes représentées par l'équation polaire $\rho e^{m} \sin^{m}\theta = C$. — 12. Courbes de Lissajous. — 13. Courbes orbiformes d'Euler et une de leurs généralisations.

Chap. IV. *Sur quelques questions de géométrie générale.* — 1. Les roulettes circulaires. — 2. Les foyers des développoïdes. — 3. Les polaires. — 4. Les courbes isoptiques et les podaires. — 5. Développantes d'une courbe donnée. — 6. Un problème de la théorie des courbes.

Chap. V. *Sur quelques courbes gauches.* — 1. Lignes géodésiques de l'hélicoïde à plan directeur. — 2. Les pseudo-cercles. — 3. Courbes de la corde à sauter.

Appendice. Sur les problèmes célèbres de la géométrie élémentaire non résolubles par la règle et le compas. — Chap. I. *Sur le problème des moyennes proportionnelles. Duplication du cube.* — 1. Idée générale. — 2. Solution de Platon. — 3. Id. d'Architas. — 4. Id. attribuée à Eudoxe. — 5. Méthode de Ménechme. — 6. Solution d'Héron, Philo-Byzantinus et Apollonius. — 7. Id. d'Eratosthène. — 8. Id. de Nicomède. — 9. Id. de Dioclès. — 10. Id. de Viète. — 11. Méthode de Villapandus et de Gruenberger. — 12. Id. de Descartes et Fermat. Généralisations de Sluse et Newton. — 13. Méthode de Viviani. — 14. Les méthodes de Huygens. — 15. Solution de Newton. — 16. Les méthodes de Clairaut. — 17. Méthode de Montucci.

Chap. II. *Division de l'angle.* — 1. Méthode d'Hippias. — 2. Id. d'Archimède. — 3. Id. de Nicomède. — 4. Id. de Pappus. — 5. Id. d'Étienne Pascal. — 6. Id. de Descartes et Fermat. — 7. Id. de Kinner. — 8. Id. de T. Ceva. — 9. Trisectrice de Mac-Laurin. — 10. Solution de Delanges. — 11. Méthode de Chasles. — 12. Id. de Lucas. — 13. Trisectrice de Catalan. — 14. Méthode de Lonchamps. — 15. Id. de Kempe. — 16. Problème d'Archimède. — 17. Les problèmes du 3e degré.

Chap. III. *Sur la quadrature du cercle.* — 1. Notice sur les premiers documents concernant la quadrature du cercle. Travaux de Viète, Adrien Romanus et van Ceulen. — 3. Recherches de Snellius et Huygens. — 4. Méthode de James Gregory pour

la quadrature du cercle. — 5. Id. de Descartes et Euler. — 6. Id. de Legendre. — 7. Sur quelques expressions analytiques de π. Sur le calcul de π au moyen des séries.

Chap. IV. *Sur l'impossibilité de la résolution par la règle et le compas des problèmes considérés précédemment.* — 1. Principes généraux. — 2. Application aux problèmes des moyennes. — 3. Id. à la division de l'angle. — 4. Id. à la division de la circonférence en parties égales. — 5. Id. au problème de la quadrature du cercle.

H. Bosmans, S. J.

IV

Ptolemy's Catalogue of Stars. A Revision of the Almagest by Christian Heinrich Friedrich Peters, Ph. D. Director of Hamilton College Observatory... and Edward Ball Knobel, Treasurer and Past President of the Royal Astronomical Society. Un vol. grand in-4° de 207 pages et 4 planches hors texte. — The Carnegie Institution of Washington, 1915.

Ce magnifique volume sort des presses de Gibson, frères, à Washington, et forme le n° 86 des publications de la *Carnegie Institution of Washington*. Le Dr Peters, auteur principal du travail, mourut le 18 juillet 1890. Dans une Préface datée de Londres, octobre 1914, M. Knobel nous dit comment il fut amené à s'associer à l'œuvre de Peters et à la continuer après lui ; puis il nous en expose le but, à peu près en ces termes :

Le catalogue d'étoiles contenues dans les 7e et 8e livres de la μεγάλη σύνταξις de Ptolémée, nommée d'ordinaire l'Almageste, doit encore toujours être considéré comme ayant un intérêt capital. C'est, parmi les documents qui offrent une exactitude suffisante pour pouvoir fournir des points de comparaison avec les observations modernes, à la fois le meilleur et le plus ancien que nous possédions. Il fut tenu dans la plus haute estime pendant des siècles, et jusqu'à l'époque de Tycho Brahé, ce fut pratiquement la seule source d'information accessible sur la position des étoiles. Au xve siècle, il est vrai, Ulugh Bey élabora un catalogue des étoiles de Ptolémée beaucoup meilleur, mais il ne fut jamais d'un usage général.

Le catalogue de Ptolémée a fait déjà l'objet de bien des travaux. Parmi les éditions imprimées, il faut en compter d'abord

six en grec, à savoir, celles de Grynaeus, de Halley, de Montignot, de Halma, de Baily et d'Heiberg ; plusieurs en latin, notamment, celles de Trapezuntius, de Screkenfuls, de Flamsteed, traduites sur le grec ; puis celles de Lichtenstein et de Copernic, traduites sur l'arabe par Gérard de Crémone ; enfin les Tables Alphonsines, traduites elles aussi en latin sur l'arabe. La traduction française, d'après l'arabe d'Abd Al Raman Al Sûgi, par Schjellerup, est tout bonnement un catalogue de Ptolémée, mais calculé pour une autre époque. Enfin, une édition allemande de l'Almageste a été publiée récemment par le Dr Karl Manitius.

C'est probablement en 1876 ou au commencement de 1877 que Peters, à son tour, commença à s'occuper du Catalogue de Ptolémée. Voici comment il parle lui-même de son entreprise :

« Une étude définitive de l'exactitude du catalogue d'étoiles utilisé par Ptolémée n'a pas encore été faite, dit-il. Flamsteed, Lalande et Bode se sont contentés d'une confrontation très superficielle de la position des étoiles. Baily a corrigé, sur de simples conjectures, quelques chiffres donnés fautivement par les manuscrits. Il serait utile de consulter dans le même but le catalogue d'Al Sûfi, qui dérive de celui de Ptolémée par l'addition d'une constante aux longitudes. Plus d'une étoile y est, néanmoins, placée inexactement et l'identification en est ou impossible ou douteuse. Cependant, si on veut comparer le ciel étoilé des temps anciens à celui de nos jours, si on veut savoir ce qui au cours des deux derniers milliers d'années a réellement changé dans le firmanent, il faut savoir jusqu'où les positions assignées par Ptolémée aux étoiles peuvent être regardées comme pouvant être fautives. »

Personne, d'après M. Knobel, n'était mieux doué, ni mieux préparé pour pareille entreprise que le Dr Peters. Astronome de profession, possédant parfaitement la plupart des langues européennes, il savait en outre très bien le grec, le latin, l'hébreu, le persan, l'arabe, le turc et possédait une rare facilité de calculateur.

Voici quelques précisions sur l'état dans lequel Peters trouvait le problème qu'il cherchait à élucider :

On peut affirmer sans crainte de se tromper que plus aucun manuscrit ne nous a conservé correctement le texte primitif de Ptolémée. Il importait, donc, de commencer par discuter la cause probable des erreurs qui s'y rencontrent. Or, on sait que ces erreurs sont particulièrement aisées à commettre dans la transcription des données numériques. Ne disant rien au copiste, elles n'attirent pas son attention quand il se trompe.

Au temps de Ptolémée, deux sortes d'écritures grecques étaient en usage, l'onciale et la cursive. Pour en donner quelque idée au lecteur, peut-être peu au courant de la paléographie, je les comparerais respectivement à nos majuscules imprimées et à nos minuscules manuscrites. Un ouvrage de l'importance de l'Almageste n'a pu voir le jour qu'en onciales. C'est en partant de ce principe qu'il faut expliquer certaines erreurs, dans les transcriptions, causées par la ressemblance des caractères, telles par exemple, que la confusion de l'alpha A qui vaut 1, avec le delta Δ, qui vaut 4. Il suffit que dans le manuscrit la position du trait horizontal ne soit pas nette pour rendre la lecture douteuse. Trois photogravures hors texte éclaircissent la discussion que M. Knobel nous donne sur ce sujet dans son introduction historique.

Suit, dans la même introduction, une courte appréciation de quelques travaux antérieurs relatifs au catalogue d'étoiles de Ptolémée. Mentionnons le mémoire de Baily édité dans les MEMOIRS OF THE ROYAL ACADEMICAL SOCIETY, t. XII, et l'appendice annexé par Delambre à l'édition de l'Almageste de Halma. L'esprit perspicace de Delambre lui avait fait remarquer certaines erreurs systématiques, d'où il concluait à un défaut d'orientation dans les sphères armillaires dont se servit Ptolémée. Les auteurs du présent travail nous donnent les diagrammes de ces erreurs en longitude et en latitude.

Ici commence le corps de l'ouvrage. Après trois petits tableaux résumant les erreurs moyennes commises par Ptolémée, vient la liste des 55 manuscrits qui ont été étudiés et mis en œuvre pour la nouvelle édition du catalogue de l'astronome d'Alexandrie. Cette liste est suivie de remarques paléographiques et autres sur ces manuscrits. Après quoi, nous abordons les trois catalogues qui constituent le nœud de l'ouvrage.

Le premier est disposé en six colonnes. La 1e donne le N° d'ordre de l'étoile d'après l'édition de Baily. La 2e donne le N° d'ordre adopté par Ptolémée et la description succincte par laquelle l'astronome grec cherche à identifier chaque étoile. Cette description est en latin d'après le texte, revisé sur le grec de l'édition de l'Almageste, publiée par Trapezuntius, en 1528. Exemple : « *Ursa minor* ; 1. Quae est in extremitate caudae. 2. Quae post istam in cauda est. 3. Quae post istam prope radicem caudae. 4. ... etc. ». La 3e colonne donne les noms actuels des mêmes étoiles. Ainsi les trois étoiles de la Petite Ourse que je viens de nommer se désignent aujourd'hui respec-

tivement par 1 α, 23 δ, 22 ε. La 4e colonne donne la longitude de l'étoile par signe ou constellation du zodiaque, degrés et minutes. La 5e donne sa latitude en degrés et minutes ; enfin la 6e donne sa grandeur.

Le catalogue N° II compare les nombres fournis par le catalogue de Ptolémée avec ceux des observations modernes calculées pour l'an 100 de notre ère, date à laquelle vivait l'auteur de l'Almageste. Ce catalogue II est partagé en 11 colonnes. La 1e contient le N° d'ordre de l'étoile d'après Baily, la 2e son N° d'ordre d'après Ptolémée, la 3e sa longitude, la 4e sa latitude et la 5e sa grandeur toujours d'après Ptolémée, la 6e colonne contient le nom moderne de l'étoile, la 7e la longitude qu'elle avait l'an 100 de notre ère, la 8e sa latitude et la 9e sa grandeur d'après les évaluations actuelles. Enfin la 10e et la 11e colonnes donnent pour chaque étoile respectivement les différences des deux longitudes et des deux latitudes contenues dans les colonnes précédentes.

Le catalogue N° III renferme des renseignements analogues permettant de comparer les données de Ptolémée avec les observations modernes ramenées à l'époque d'Hipparque, c'est-à-dire, à 150 ans avant Jésus-Christ. Les colonnes contenant la grandeur des étoiles sont omises comme faisant double emploi.

Ici se termine la partie principale de l'ouvrage. Elle est suivie de renseignements divers. Ce sont, d'abord, plusieurs pages de notes relatives aux tableaux ou catalogues précédents ; puis vient un tableau des étoiles identifiées différemment par Peters, Baily, Schjellerup, Pierce et Manitius. L'ouvrage se termine, enfin, par ce que j'appellerais volontiers des pièces justificatives ; ce sont les variantes des principaux manuscrits relatives à la grandeur des étoiles, à leur longitude et à leur latitude, le tout disposé en grands tableaux qui rendent les confrontations faciles.

Nous avons oublié de dire que le volume s'ouvre par un portrait de Peters. En résumé, nous venons d'analyser, en quelques pages, un travail de grand mérite, qui promet d'être aussi utile aux astronomes qu'aux historiens de la science.

H. Bosmans, S. J.

V

Les révélations du dessin et de la photographie a la guerre, *principes de métrographie*, par le Lieutenant-colonel Andrieu. Un vol. in-8° de XIII-112 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

A tout point d'un dessin perspectif, d'une photographie, correspond une droite de l'espace, une projetante ; et le point considéré du dessin est l'image du point d'intersection de cette droite et du terrain. C'est ainsi que deux photographies d'un même terrain, prises de points différents, dans des circonstances connues, équivalent au levé topographique de ce terrain : chacun des points de celui-ci est l'intersection des projetantes que définissent ses deux images. Tel est le principe de la métrographie. — A la guerre, le problème se pose différemment. Le terrain est connu par la carte, mais l'ennemi l'a partiellement modifié : ce sont ces modifications qu'il faut reporter sur la carte. Le lieutenant-colonel Andrieu ne s'est pas proposé la résolution de ce problème dans toute sa généralité, mais il en examine successivement tous les cas particuliers que la pratique rencontre, et donne à chacun d'eux une solution rapide, à l'approximation désirée. Ce petit ouvrage, peut-être pas très travaillé, mais écrit d'une plume alerte, est rempli de renseignements intéressants. Le plus long de ses chapitres est consacré aux *exemples de guerre,* et la plupart des figures qui accompagnent ceux-ci portent les noms de bois, de collines et de villages célèbres depuis les grandes journées de la bataille de Verdun.

M. A.

VI

L'origine des Formes de la Terre et des Planètes, par E. Belot. Un vol. in-8° de XII + 213 pages, avec figures et 3 planches. — Paris, Gauthier-Villars, 1918.

Dans son introduction, M. Belot fait le procès de l'actualisme en Géologie. Cette tendance consiste à chercher l'explication de la figure du Globe dans les causes actuellement en jeu à la surface de la Terre. La théorie des cycles, en honneur chez les géologues, ne peut nous faire remonter jusqu'aux origines de la constitution de la croûte terrestre. Avant l'ère à transfor-

mations périodiques a existé une ère catastrophique nettement irréversible, que l'on peut appeler l'ère *astrophysique*.

L'ouvrage de M. Belot est une reconstitution de l'histoire de la Terre à ses premiers jours. Il la prend au moment où notre Globe était encore une masse nébuleuse en rotation et la conduit jusqu'à la période tertiaire. Cette doctrine se rattache étroitement à l'hypothèse de la Cosmogonie tourbillonnaire dont M. Belot est l'auteur. A ce premier stade, la Terre est un tube tourbillon renflé, traversant une nébuleuse. A la même théorie est empruntée l'hypothèse de trois anneaux satellitaires entourant la Terre et venant, à des intervalles déterminés, se précipiter sur la terre et y créer des mouvements orogéniques. Telles sont, si l'on y ajoute l'hypothèse d'un Soleil qui, à l'époque secondaire, traînerait encore après lui des prolongements lumineux, les trois données principales du problème de la formation de la croûte terrestre.

Ces données astronomiques « permettent de prendre enfin le problème géologique par son commencement et non pas par sa fin, comme on l'a fait jusqu'ici en Géologie ».

« Replacer dans leur ordre naturel et logique les phénomènes géologiques de l'ère primitive, leur restituer leur caractère exceptionnel n'ayant aucun rapport avec la réalité actuelle, mais la conditionnant d'une manière très étroite, rendre à l'Astronomie et à la Physique la part capitale qu'elles ont eue dans la formation de la Terre », telle est la tâche assumée par l'auteur.

Il est impossible de reproduire ici, ni même de signaler les conséquences ingénieuses et inattendues que M. Belot tire, pour ainsi dire sans fin, de ces prémisses. La théorie explique bien des choses — on serait tenté de craindre qu'elle n'en explique trop. Signalons les conclusions maîtresses de cette féconde théorie.

Trois périodes divisent l'ère prégéologique : la période nébuleuse, la période ignée, la période diluvienne. Elles sont caractérisées par la température moyenne de la surface de la Terre : plus de 3000° pour la première, de 3000° à 364° pour la seconde, de 364° à 70° pour la troisième ; cette dernière température étant celle à laquelle la vie a pu faire son apparition sur la Terre. Pourquoi ce repère précis de 364° ? C'est la température critique de l'eau, c'est-à-dire la température au-dessus de laquelle l'eau, quelle que soit la pression, est toujours à l'état de vapeur. Or, un des traits fondamentaux de la théorie de

M. Belot est le rôle prépondérant joué par l'eau dans la sculpture du relief terrestre.

Le rayonnement ayant refroidi peu à peu la masse gazeuse primitive, la Terre s'est couverte d'abord d'une couche liquide ignée. Des scories légères se forment et flottent à la surface. A ce moment la Terre est entourée d'une atmosphère de densité considérable (120 fois la densité actuelle). Par suite du frottement de l'atmosphère sur la nébuleuse au sein de laquelle elle se déplace, pôle nord en avant, l'atmosphère s'accumule vers le pôle sud. Les gaz qui constituent ce renflement, d'ailleurs refroidis par le rayonnement, descendent vers la surface de la Terre et s'écoulent vers le pôle nord, pour y être repris par le frottement de la nébuleuse et recommencer un nouveau cycle. Cette circulation atmosphérique se résout donc en vents violents qui balayent vers l'hémisphère nord les scories qui se sont formées sur le bain liquide et les accumulent pour en faire l'amorce des futurs continents.

En vertu de la même cause, c'est le pôle sud qui se refroidit le plus rapidement. Lorsque sa température s'est abaissée jusqu'au point critique de l'eau, 364°, toute l'eau maintenue jusque là en suspension dans l'atmosphère sous forme de vapeur et qui équivaut à une couche d'eau liquide de 3000 mètres d'épaisseur se condense et se précipite sur le pôle sud. De là, dès que la température de la croûte terrestre le permet, elle s'écoule en masses formidables vers le pôle nord, déterminant, tant par sa masse que par son énergie cinétique et par sa température, une érosion profonde de l'écorce terrestre, traits désormais ineffaçables de la figure du Globe. L'eau ravinera profondément l'hémisphère sud qui deviendra l'hémisphère marin, tandis que les sédiments iront se déposer dans l'hémisphère nord pour y contribuer à la formation des continents.

La différence très marquée existant entre le faciès du Pacifique et celui de l'Atlantique est attribuée à une dissymétrie initiale, peut-être très minime, dans le refroidissement de la zone antarctique. L'érosion de la période diluvienne fournit aussi une interprétation très satisfaisante de l'isostasie. Le phénomène paléothermal de l'époque carbonifère est expliqué par la persistance à cette époque de traînées solaires non encore condensées et couvrant de leur rayonnement toute la surface de la Terre.

Le chapitre sur les problèmes orogéniques et épirogéniques est très fécond en vues nouvelles. Les phénomènes y sont étu-

diés non seulement au point de vue qualitatif, mais au point de vue quantitatif. Dans un paragraphe intéressant (p. 83) l'auteur insiste d'ailleurs sur la nécessité de recourir à des lois mathématiques, si l'on veut donner, de la configuration terrestre; autre chose que des interprétations de façade.

Un autre point capital dans la théorie invoquée, c'est l'action des courants du magma de la pyrosphère. C'est la précipitation à trois époques différentes d'anneaux satellitaires qui les auraient surtout produits. Les transgressions et régressions marines sont attribuées à la même cause, ainsi que les trois grands efforts orogéniques (calédonien, hercynéen et alpin).

Une théorie du volcanisme appuyée sur des expériences de laboratoire rend compte de la distribution et des divers modes d'activité des volcans à la surface du globe. Le magnétisme terrestre, son origine, ses variations viennent apporter une confirmation inattendue à la sédnisante théorie.

L'application des mêmes lois aux autres planètes, moyennant des hypothèses assez gratuites, termine l'ouvrage.

La théorie grandiose développée par M. Belot jusque dans ses très lointaines conséquences subira vraisemblablement des retouches. Mais personne ne niera qu'elle soit, de toutes les théories géogéniques, la plus compréhensive et celle qui présente la plus belle unité. Il est désormais impossible à un géologue de faire abstraction de cette *gëologie nouvelle* ou de l'ignorer.

F. W.

VII

Problèmes astronomiques : les distances des satellites, la voie lactée, les taches solaires, les essaims d'étoiles filantes, le système de la Terre, les troubles de l'humanité ; par le Lieutenant-colonel Delauney. Une brochure in-8° de 50 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

L'auteur de ce livre apporte un témoignage nouveau à la thèse qu'expose P. Duhem au début (pp. 15 et suiv.) du tome II de son incomparable *Système du monde :* « Vouloir que les êtres réels offerts par la nature à notre observation suivent certaines lois arithmétiques, alors que la seule raison d'être de ces lois c'est la séduction exercée sur notre esprit par des combinaisons numériques simples et régulières, voilà, assurément, une exi-

gence que le logicien rigoureux doit réputer illégitime... Ainsi voyons-nous l'esprit pythagoricien persister, en pleine vigueur, jusqu'à nos jours. A l'aspect d'un tableau de nombres que l'observation et la mesure de certains objets ont fournis, l'homme ne peut consentir aisément à ce que la raison d'être de ces nombres lui échappe, à ce qu'ils soient pour lui comme si le hasard seul les avait donnés. Toujours il se trouvera des chercheurs pour tenter, par des combinaisons arithmétiques, d'introduire dans ce tableau un ordre qu'ils perçoivent et une harmonie qui les satisfasse ».

A propos des distances des planètes et des satellites, M. Delauney a-t-il mieux réussi que ses devanciers, aux recherches nombreuses de qui, dit-il, « il a manqué d'être couronnées par le succès » ? Beaucoup de lecteurs regretteront « les lacunes, les fusionnements, les fractionnements » qu'il faut imposer aux planètes pour les plier à la loi proposée.

Les taches solaires seraient dues au passage de cet astre à travers une nébuleuse composée d'un noyau et d'une série d'anneaux équidistants. Les phénomènes météorologiques devraient être attribués à des satellites terrestres, à des chaînes météoriques. Quant aux grands événements qui viennent secouer l'humanité, ils seraient liés aux maxima de l'activité solaire ; la démonstration de cette proposition n'est pas sans qualité : on doit lui reconnaître une souplesse qui permettrait de l'appliquer, avec le même succès, à soutenir des thèses encore bien plus inattendues.

M. A.

VIII

Petit Atlas céleste comprenant 5 cartes en deux couleurs, précédé d'une introduction sur les constellations, sur les moyens de les reconnaître, etc., par G. Bigourdan, membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes. Deuxième édition. Un vol. in-8° de 53 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Un article sur la répartition des étoiles en constellations, — une liste des constellations dont les noms ne sont plus en usage, — un tableau de correspondance des dénominations latines et françaises des constellations qui ont été conservées, — un guide pour la découverte des constellations par la méthode des alignements, — un catalogue des principales étoiles (environ

600), — cinq petites cartes des étoiles des cinq premières grandeurs, — constituent un excellent petit ouvrage dont l'apparition réjouira les amateurs d'astronomie.

M. A.

IX

Cours de physique générale à l'usage des candidats au certificat de physique générale, au diplôme d'ingénieur électricien et à l'agrégation des sciences physiques. Leçons professées en 1913-1914 à la Faculté des sciences de l'Université de Lille et complétées depuis cette date, par M. H. Ollivier, Maître de conférences à l'Université de Lille. — Tome troisième. Mouvements vibratoires. Acoustique. Optique physique. Ondes électromagnétiques. Électro-optique. Effets optiques du mouvement. — Un vol. de 632 pp. (26 × 17) avec 378 fig. dans le texte et une planche hors texte. — Paris, Hermann, 1918.

Des deux premiers tomes de cet ouvrage parus avant la guerre il a été rendu compte dans cette Revue avec l'éloge qu'ils méritaient. Ce troisième volume s'appuie en maints endroits sur les précédents ; mais comme eux il forme un tout par lui-même. Il comprend les leçons d'un cours de licence et suppose donc chez le lecteur la connaissance des éléments de physique exigés au baccalauréat, ainsi que des éléments d'analyse infinitésimale et de mécanique analytique.

L'auteur ne prétend pas exposer toutes les questions avec une égale ampleur ; en abordant chacune de celles dont il fait choix, il a soin de la mettre au point, sans toutefois entrer dans les détails d'histoire ; de préciser, parmi les points de vue possibles, celui auquel il se place et d'indiquer à qui voudrait compléter son étude un ou deux ouvrages classiques sur la matière.

Son choix est des plus intéressants et actuels. Il est aussi assez complet pour fournir une image fidèle de l'état présent des recherches dans le domaine de la physique générale ; et heureusement pour nous, car M. Ollivier excelle à présenter l'étude d'une question.

Il la pose ordinairement dans toute sa généralité et commence par donner, avec une clarté et une concision remarquables, la définition et l'expression mathématique des notions qui s'y rencontreront, ainsi que les principes généraux qui la dominent.

Pour illustrer les problèmes ou les dispositifs d'expériences et

de mesures, il se sert avec bonheur des figures schématiques ; ses dessins parlent et font voir dans l'espace. Parfois le texte se réduit pour ainsi dire à n'être que la légende du schéma ; ceci tout à l'avantage de la concision et sans que l'auteur tombe dans le défaut de la sécheresse. Les procédés d'observation expérimentale sont généralement réduits nettement à leurs principes. La discussion par le menu des formules mathématiques fournies par les déductions théoriques, tout en restant dans le domaine des hypothèses vraiment utiles, est très soignée. Enfin, qualité absolument maîtresse de l'ouvrage, on y trouve partout, mais surtout vers la fin des chapitres, des exemples d'applications concrètes et les résultats de mesures pratiques, avec indication de leur degré d'exactitude. Nous souhaiterions toutefois, pour la facilité de la lecture et surtout de la consultation rapide, que toutes les formules importantes fussent numérotées et que dans la suite des raisonnements et dans les applications on y fût renvoyé explicitement.

Voici le contenu de ce tome troisième. Après les théorèmes principaux sur les fonctions périodiques (chap. I, p. 1), et, entre autres, la curieuse méthode pratique de S. Thomson pour le calcul des coefficients de la série de Fourier, l'auteur expose des généralités sur les mouvements vibratoires (chap. II, p. 27) ; puis il étudie la propagation des ébranlements dans les fluides (chap. III, p. 47), et les vibrations des corps solides (chap. IV, p. 78). Au chap. V, p. 105, il touche la critique du principe d'Huygens et du postulat de Fresnel. Conformément à la démonstration de M. Gouy, il n'en admet l'application qu'au cas des ondes planes. Le chap. VI, p. 112, est consacré à un ensemble de théorèmes (le « principe de Doppler-Fizeau ») relatif à l'observation des ondes émises par une source en mouvement. L'acoustique, y compris l'anatomie de l'oreille, est esquissée rapidement (chap. VII, p. 123). Le chap. VIII, p. 141, est une introduction à l'étude de l'optique physique, rappel sommaire des phénomènes. Puis sont exposés, en détail, les interférences de la lumière (franges, anneaux de Newton, appareils de très haute précision de Michelson et de Pérot et Fabry, chap. IX, p. 185), la diffraction de la lumière (chap. X, p. 226), l'optique cristalline (entre autres, l'élégante représentation sphérique de Poincaré des caractéristiques de polarisation, chap. XI, p. 264), la polarisation rotatoire naturelle (chap. XII, p. 332), la production et la mesure des petites biréfringences par traction ou compression, par champ électrique (phénomène de Kerr) ou

magnétique (phénomène de Cotton et Mouton, chap. XIII, p. 367), les cristaux liquides (chap. XIV, p. 375).

Après l'étude, plus approfondie que dans le tome Ier, des oscillations amorties de certains systèmes matériels, particulièrement des galvanomètres (fluxmètres, ohmmètres, oscillographes), avec indication des équations réduites de Curie (chap. XV, p. 391), et un court exposé des appareils thermo-ioniques (chap. XVI, p. 434), l'auteur consacre un excellent chapitre, le chap. XVII, p. 442, aux oscillations électriques, puis il passe en revue les principes et les appareils de la télégraphie et de la téléphonie sans fil (chap. XVIII, p. 504). Le chap. XIX, p. 519, contient des notions sommaires, mais substantielles, d'électro-optique. Une introduction claire et concise à l'étude des effets optiques du mouvement (chap. XX, p. 555), mène à l'exposé très intéressant des derniers chapitres de l'ouvrage, réservés aux expériences de Sagnac sur l'effet tourbillonnaire optique (on sait que ces expériences prouvent la possibilité de reconnaître sans point de repère extérieur le mouvement de rotation d'un système par rapport à l'éther supposé immobile), (chap. XXI, p. 574), à l'aberration astronomique (chap. XXII, p. 583), à l'effet optique Doppler-Fizeau et à ses applications astronomiques (chap. XXIII, p. 588), spécialement dans l'observation des étoiles doubles (chap. XXIV, p. 600). Le dernier chapitre ne contient que des notions très sommaires sur le principe de relativité, sous la première forme d'Einstein, p. 609.

H. D.

X

Traité de la lumière, par Christian Huyghens. Un vol. in-16 de VIII-155 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Voici le premier volume de la nouvelle collection, *Les maîtres de la pensée scientifique*, éditée par la maison Gauthier-Villars.

Les savants, j'entends ceux qui aiment leur science, qui veulent en connaître plus que l'état actuel et les dernières découvertes, c'est-à-dire l'histoire et la vie, feront excellent accueil à cette publication.

« Elle fournira les documents les plus indispensables aux historiens de la science... Elle permettra aux savants de connaître plus intimement les découvertes de leurs devanciers et d'y trouver nombre d'idées originales. Les philosophes y trou-

veront une mine inépuisable pour l'étude épistémologique des théories et des concepts, au moyen desquels se construit la connaissance de l'univers. Elle offrira enfin à la jeunesse studieuse un moyen facile et peu coûteux de prendre contact, à leur source même, avec les méthodes expérimentales et les procédés ingénieux que les grands chercheurs ont dû inventer pour résoudre les difficultés ».

Le *Traité de la Lumière* est précédé d'une courte notice biographique sur Huyghens. Tout éloge du traité lui-même serait superflu. On sait qu'il est à la base même de l'optique physique. Cette première pierre a été posée de main de maître par Christian Huyghens. Elle est définitive.

D. T.

XI

Die Atomtheorie in ihrer neuesten Entwickelung. Sechs Vorträge von Dr. Leo Graetz, Professor an der Universität München. Deuxième édition. Une brochure de 92 pages, 30 figures. — Stuttgart, J. Engelhorns Nachf., 1920.

Excellente présentation d'ensemble des nombreuses contributions venues de divers côtés en ces dernières années à l'étude d'une question d'intérêt fondamental. L'auteur s'y montre à la hauteur de la grande réputation de vulgarisateur scientifique qu'il s'est faite : sans rien dissimuler des difficultés des recherches et des incertitudes des résultats, sans esquiver des points de doctrine délicats et sans se laisser entraîner à des hors-d'œuvre brillants, dans un style très clair et suivant un plan parfaitement équilibré, il nous donne en moins de cent pages un tableau fidèle des étonnantes métamorphoses subies en ces vingt dernières années par nos idées sur la constitution de la matière.

Voici la distribution des sujets : Chap. I. La molécule et l'atome dans la chimie, et la théorie cinétique des gaz. — Chap. II. Les atomes et les ions dans les phénomènes électriques des liquides et des gaz. Les atomes de l'électricité. — Chap. III. La désagrégation des atomes dans les substances radioactives. La théorie des noyaux atomiques. — Chap. IV. Les spectres des rayons de Roentgen et la théorie des noyaux atomiques. — Chap. V. Les spectres de lignes et le modèle d'atome de Bohr. — Chap. VI. Nouvelles recherches sur l'architecture des noyaux, des atomes, des ions et des molécules. La désagrégation de l'azote.

R. S.

XII

Leçons de Physique générale, par James Chappuis et Alphonse Berget. Tome II. Électricité et Magnétisme. Troisième édition. Un vol. in-8° de 623 pages, 405 figures. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

On sait que cet excellent manuel est, dans l'esprit de ses auteurs, une introduction générale à l'étude de la Physique supérieure, destinée aux ingénieurs, aux élèves des grandes écoles et à ceux qui préparent la licence ès sciences physiques. Intermédiaire entre les leçons élémentaires et les traités complets, il donne un exposé large mais très précis des théories fondamentales de la science. Une deuxième édition, ainsi qu'un volume supplémentaire, le quatrième, spécialement consacré aux phénomènes électriques dans les gaz, à la magnéto-optique et à l'électro-optique, l'avaient déjà rajeuni avant la guerre et mis à la hauteur des nombreux progrès réalisés depuis le début du siècle. Avec le deuxième volume commence une nouvelle édition entièrement refondue, où se continue cette mise au point, particulièrement utile dans les matières, électricité et magnétisme, qui en sont l'objet. Le chapitre des courants d'induction, notamment, avec leurs importantes applications à l'industrie, a été soumis à un remaniement complet et a pris une extension considérable.

V. S.

XIII

The Realities of Modern Science. An introduction for the general reader, par J. Mills. Un vol. in-8°, de xi-327 pages, avec 44 figures. — New-York, The Macmillan Company, 1919.

Ce bel ouvrage est un exposé synthétique, très élémentaire, des principales conquêtes de la physique moderne. L'auteur, qui se propose d'indiquer l'aspect historique et la signification sociale de cette branche du savoir, s'adresse, comme il le dit, plutôt aux « citoyens » futurs qu'aux futurs « savants ». La majeure partie du grand public s'intéresse aux applications pratiques, si étonnamment nombreuses et variées, de la science actuelle, mais il n'a pas toujours l'occasion de les étudier à l'école, car

les cours élémentaires qu'on y donne sont tout à fait insuffisants et ne traitent pas des électrons, par exemple. Le livre de M. Mills a pour but de combler cette lacune.

La matière est répartie en vingt-deux chapitres, de longueurs à peu près égales, et dont voici les titres : I. Les débuts du savoir. — II. Les machines des Anciens. — III. Poids et mesures. — IV. Les débuts de la Science. — V. Les débuts de l'expérimentation. — VI. Les réalités de la Science. — VII. La composition moléculaire de la matière. — VIII. L'électron. — IX. L'énergie. — X. Quelques applications des mathématiques. — XI. Fonctions. Vitesses. — XII. Force. — XIII. Mouvements moléculaires et température. — XIV. Mouvements d'électrons. — XV. Les actions mutuelles des électrons en mouvements. — XVI. La continuité et la correspondance des états moléculaires. — XVII. Mélanges moléculaires. — XVIII. Dissociation électrolytique. — XIX. Équilibres et leur déplacement. — XX. Grandeur des molécules. — XXI. Énergie moléculaire. — XXII. Grandeur des électrons.

Les premiers chapitres développent les idées fondamentales dans l'ordre historique et social. Les sections suivantes introduisent les relations quantitatives et s'adressent, dans la pensée de l'auteur, à ceux qui désirent un exposé rigoureux quoique très compréhensif. Les parties les plus importantes sont celles qui s'occupent des mouvements moléculaires et électroniques.

L'auteur a traité son sujet en pur physicien et son livre est à la portée de ceux même qui ont une complète « inaptitude pour les expressions mathématiques ». Néanmoins la nécessité d'avoir recours à l'algèbre s'affirme impérieusement au chapitre IX et le chapitre X est une première leçon de mathématique (où l'on explique, par exemple, que l'aire d'un rectangle a pour expression $A = L . B$, d'où résulte $L = A : B$), leçon qui permet d'exposer avec quelque précision les notions les plus élémentaires de la mécanique (chap. XI et XII).

Certains passages laissent un peu à désirer au point de vue de la rigueur et de la concision. D'autre part, il n'aurait pas déplu à beaucoup de lecteurs de trouver, dans certains chapitres qui s'y prêtaient, quelques citations caractéristiques des plus illustres autorités.

Comme bibliographie, M. Mills se borne, non sans raison peut-être, à signaler de-ci de-là quelques traités spéciaux, au lecteur qui serait désireux d'approfondir certains points de la physique.

Le volume se termine par un Index analytique et onomastique, de cinq pages. On y cite environ 75 savants, presque tous physiciens (1), depuis Aristote jusqu'aux plus récents (encore en vie).

L'auteur a fait un heureux effort pour vulgariser la science. Il convient de l'en remercier.

M. Lecat.

XIV

La molécule chimique, par R. Lespieau, professeur-adjoint à la Faculté des sciences de l'Université de Paris. Un vol. in-16 de 286 pages (Nouvelle Collection scientifique). — Paris, Alcan, 1920.

C'est une histoire très intéressante de la théorie atomique-moléculaire que l'auteur nous développe dans ce volume. Il y a une trentaine d'années, entre la chimie minérale et la chimie organique, il y avait une grande différence : c'est « surtout dans cette dernière que l'homme a montré qu'il dominait la matière, qu'il s'est montré maître de créer dans une direction assignée à l'avance », et tandis que l'étudiant débutant par l'étude de la chimie minérale « n'y rencontrait qu'une poussière de faits sans cohésion », ce qui faisait répéter comme un axiome « que la chimie n'est qu'une affaire de mémoire », son opinion se modifiait dès qu'il lui était donné de suivre un cours de chimie organique professé par un atomiste. Pourquoi cette différence ? C'est qu'en chimie minérale on ne citait qu'un petit nombre de corps auxquels on eût, pour des raisons intéressantes, attribué une formule développée, alors que la majorité des composés organiques connus étaient caractérisés par leurs formules développées. L'auteur se propose « d'indiquer comment on est arrivé à ces formules développées, c'est-à-dire comment on a pu péné-

(1) Il semble que la physique française ne soit pas représentée d'une manière suffisamment brillante. Par exemple, à propos de radiotélégraphie, on eût pu, à côté de Maxwell, Hertz et Marconi, au moins citer Branly, dont le mérite est d'autant plus grand que ses travaux ont été effectués dans un très modeste laboratoire. — Par contre, au chapitre VII, qui constitue une première leçon de chimie en même temps qu'un historique succinct de cette science, le rôle de Lavoisier, s'il est un peu mieux décrit que dans la plupart des manuels, n'est pas encore suffisamment bien délimité. Car aucun fait mis en lumière par le grand chimiste ne lui appartient exclusivement. Lavoisier a partagé le mérite avec d'autres ; il n'a pas créé la science de son époque, il l'a simplement transformée.

trer profondément dans l'intimité de la molécule chimique ». Il veut montrer que l'hypothèse moléculaire n'a pas été introduite dans la science uniquement par les physiciens, et que ce n'est pas à eux qu'elle doit toutes ses confirmations. « Le but de cet ouvrage est de mettre sous les yeux des étudiants les étapes successives par lesquelles ont passé les chimistes avant d'arriver à l'idée qu'ils se font aujourd'hui de la constitution chimique des molécules ».

Dans le chapitre I, l'auteur nous fait l'historique du différend Berthollet-Proust à propos des mélanges et des combinaisons ; on trouve là des renseignements très intéressants sur cette question et qui montrent que les idées tant de Proust que de Berthollet n'ont pas toujours été rendues bien exactement. Il en est de même pour les idées de Dalton. L'auteur, entre autres, montre longuement que la fameuse loi des rapports simples, connue généralement sous le nom de Dalton, et qui, comme elle est ordinairement énoncée, n'est pas vraie dans toute sa généralité, n'a jamais été donnée par le père de la théorie atomique. Qu'on lise les chapitres II-VI et on sera convaincu que Dalton n'a jamais prétendu que le rapport entre le nombre d'atomes qui se combinent est nécessairement simple ; il dira bien que, jusqu'à preuve du contraire, on peut admettre que ce rapport est simple, mais en même temps, il admet positivement la possibilité de rapports plus compliqués.

Dans les chapitres suivants, l'auteur étudie les idées de Berzélius, et l'influence sur celui-ci des découvertes de Gay-Lussac et des idées de Mitserlich, et enfin la réforme de la notation de Berzélius par Gerhardt.

L'hypothèse d'Avogadro pour les gaz et celle de Raoult pour les solutions nous donnent bien un moyen d'arriver plus facilement à la notion du poids moléculaire, mais elles ne sont pas indispensables, et Gerhardt, par exemple, voyait dans la molécule du chlore la présence de deux atomes, et cela découlait pour lui de faits d'ordre purement chimique.

Avec Wurtz, Gerhardt, Williamson, nous voyons naître et croître les notions de radicaux, de types, de formules développées qui sont une des plus belles conquêtes de la chimie. Enfin l'auteur nous montre tout ce que la chimie doit à la notion de la valence ainsi qu'aux formules stéréochimiques.

Ce n'est pas que tout soit déjà parfait, et l'auteur n'hésite pas à consacrer tout un chapitre à nous indiquer les défauts inhérents à nos formules de constitution et les imperfections de la

notion de valence. Mais malgré ces difficultés, M. Lespiau conclut à bon droit : « A elle seule, l'étude des réactions chimiques montre l'immense utilité de l'hypothèse atomique ; la même étude, cette hypothèse étant admise, permet de pénétrer profondément dans l'intimité de la molécule chimique, elle fournit des renseignements extrêmement précieux sur sa constitution, sur celle des isomères possibles et sur le nombre de ceux-ci, renseignements que nul autre procédé n'a permis d'obtenir jusqu'ici... Si ces renseignements avaient fait défaut, les magnifiques synthèses, dont la chimie organique est fière à juste titre, n'auraient pas été réalisées ».

Ce qui nous semble moins heureux, c'est que l'auteur dans son introduction donne comme un des grands avantages de ce développement de la chimie organique, la possibilité de sophistiquer nos produits alimentaires, et de fabriquer un certain nombre d'*Ersatz*.

J. Pauwels, S. J.

XV

Histoire de la Chimie, par Maurice Delacre, membre de l'Académie royale de Belgique, professeur à l'Université de Gand. Ouvrage couronné par l'Institut de France (Prix Binoux). Un vol. in-8° carré de xvi-632 pages, avec 14 fig. dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Il serait difficile de donner du livre de M. Delacre une appréciation générale plus juste que celle qu'en donna dans son rapport sur le prix Binoux l'éminent chimiste M. Georges Lemoine. « Cet ouvrage de haute vulgarisation, lisons-nous dans ce rapport, offre un réel intérêt à plusieurs points de vue ; il est attrayant par les détails qu'il donne sur le développement progressif de la chimie, par la biographie des principaux savants, par l'exposé des controverses relatives aux théories successives de la chimie organique. A tous ces égards, sa lecture est vraiment attachante pour les chimistes ».

Malgré le titre très général de l'ouvrage, M. Delacre nous avertit dans sa préface, que ce n'est nullement son intention de nous présenter une histoire complète de la chimie. Et en effet, bien des faits, bien des théories qui intéressent la chimie ont été complètement passés sous silence ; c'est ainsi qu'on ne trouve rien touchant la classification des éléments, les lois des masses

et de l'équilibre qui règlent les réactions, l'ionisation, la radioactivité et les vues nouvelles qu'elle ouvre sur la constitution de la matière. C'est que l'auteur, en traitant son sujet s'est mis à un point de vue spécial cadrant avec le cours de Chimie supérieure que, depuis vingt ans, il professe à l'Université de Gand. Il a restreint son domaine aux points qu'il regarde comme définitivement acquis, et principalement à l'histoire de la table des poids atomiques et de la constitution des composés organiques. C'est ce qu'il appelle l'histoire positive de la chimie. Celle-ci, à proprement parler, ne commence qu'avec les travaux de Lavoisier et de Dalton. Toutefois, les travaux de ces grands réformateurs de la Chimie ne peuvent pas être isolés de ceux de leurs contemporains du XVIIIe siècle, Black, Cavendish, Priestley, Scheele, ni même de ceux de leurs devanciers qui illustrent la renaissance expérimentale : Basile Valentin, Paracelse, Palissy et surtout J. B. Van Helmont et Robert Boyle. Ceux-ci, à leur tour, héritent d'une foule d'expériences, le plus souvent anonymes, mais qui, pour cela, n'en sont pas moins réelles et précises. L'auteur a donc cru devoir prendre l'histoire de la chimie à son début, ce qui l'amène à rechercher quelle part revient à chacune des grandes familles humaines dans l'établissement des données fondamentales de la chimie. Question intéressante entre toutes, mais en même temps excessivement ardue, car cette histoire primitive est le plus souvent fort confuse et très peu connue.

A partir du XVIIe siècle au contraire, l'histoire de la chimie devient plus facile, « elle est pour ainsi dire faite d'avance, tous les documents sont là, précis, complets, irrécusables... L'historien n'a qu'à les lire sans idées préconçues, autant que possible comme un contemporain aurait pu le faire, départager de la science anonyme les résultats personnels, en extraire les passages caractéristiques, les réunir bout à bout, chercher un lien, en tirer quelque moralité, diviser ce travail en périodes, étudier dans la biographie des grands chimistes ce qui est de nature à mettre en relief leur génie autant que leurs erreurs, établir entre eux quelques rapprochements et quelques contrastes. C'est tout ».

Et cette méthode l'auteur l'a suivie avec la plus grande sincérité, mais, dans cette étude, il a puisé une irrémédiable aversion pour les théories ; avec vigueur, il fait la guerre aux hypothèses, et dans ses derniers chapitres, l'auteur l'avoue lui-même, « son livre devient un livre de combat » ; sans ménagements il attaque « ceux qui ont voulu tirer de la science de leur temps des conséquences hâtives ou illégitimes ». Il en veut à Berzélius, à Lie-

big, il en veut surtout à ceux qu'il appelle « les professeurs de 1860 ». Nous comprenons parfaitement son aversion pour l'*a priori* et pour les hypothèses et les théories construites hâtivement sur des expériences mal faites ou insuffisantes ; nous admettons encore que les théories et les hypothèses puissent constituer un écueil pour certains esprits qui, voyant tout à travers leur hypothèse, détourneraient les faits de leur véritable signification ; sans doute encore, à la base des sciences physiques doivent se trouver les faits, les faits tels qu'ils sont en réalité, observés avec justesse et sans préjugés. Mais une science qui n'aurait à enregistrer que des faits isolés sans aucun lien qui les unisse, serait-elle vraiment une science ? Cette connaissance de quelques faits est-elle de nature à satisfaire notre intelligence ? La science proprement dite ne doit-elle pas remonter à la cause du phénomène, et cette cause comment l'atteindra-t-elle sans le secours de l'hypothèse, de la théorie ? Sans doute, les systèmes modernes, pas plus que les précédents, ne doivent pas être considérés comme le dernier mot de la science ; à côté de quelques bribes de vérités, ils renferment peut-être beaucoup d'inexactitudes, mais c'est déjà quelque chose que de découvrir un peu de la vérité, et bien souvent, par les expériences multiples et variées que ces théories ont provoquées pour leur vérification, nous sommes arrivés à la découverte de plusieurs faits nouveaux, qui sans cela peut-être, seraient restés bien des années encore ensevelis dans l'ignorance.

Jos. Pauwels, S. J.

XVI

Les progrès de la chimie en 1918, traduction française autorisée des *Annual Reports on the Progress of Chemistry for 1918*. Vol. XV issued by the « Chemical Society », publiée sous la direction de M. André Kling, directeur du Laboratoire municipal de Paris. Un vol. in-8° carré de xiv-322 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Depuis assez longtemps déjà, la « Chemical Society » publie chaque année, sous le titre de *Annual Reports on the Progress of Chemistry,* un résumé des principaux travaux et des principales découvertes survenues pendant l'année écoulée dans les diverses branches de la chimie. L'utilité de cette revue annuelle, faite par des spécialistes, saute au yeux. Que de savants en effet qui

n'ont ni le temps ni les moyens de faire une bibliographie suffisante pour se tenir au courant des progrès de la chimie trouveront dans ces volumes de format modeste un tableau complet et bien ordonné de l'évolution de la science chimique pendant l'année écoulée ! Cette revue constitue pour eux une source de documentation d'incontestable utilité.

Comme rien de semblable n'existait en français, M. Kling, directeur du Laboratoire municipal de Paris, avait cru faire œuvre utile, en 1913, en publiant, sous le titre de *Progrès de la Chimie en 1912,* la traduction du volume de 1912. Le succès obtenu par ce premier essai le décida à continuer sa publication. Malheureusement, la guerre vint interrompre les travaux, et ce n'est qu'après la signature de la paix, en 1919, qu'il fut enfin possible de songer à la continuation du travail commencé six ans auparavant.

Donner dans les quelques lignes d'un compte rendu un aperçu même sommaire de tout ce que renferme ce volume n'est pas possible ; contentons-nous d'en indiquer les grandes lignes.

Nous avons d'abord une revue des travaux publiés sur la *Chimie générale* et la *Chimie physique.* Elle est due à H.-M. Dawson, et traduite par L. Vernerd. On y trouve notamment des renseignements intéressants sur l'hypothèse du nombre atomique, la structure de l'atome et les différents spectres, sur la conductibilité électrique, l'ionisation et la nature de l'ion, sur la dynamique chimique, la vitesse des réactions et la théorie des quanta.

Le 2ème mémoire sur la *Chimie minérale,* composé par E. C. C. Baly et traduit par L. Vernerd, nous fait connaître quelques études nouvelles sur l'allotropie du soufre, ainsi que quelques travaux sur la préparation de corps nouveaux.

Pour la *Chimie organique,* la première partie composée par J.-C. Irvine et traduite par D. Florentin, traite de la série *aliphatique.* On y fournit des détails intéressants sur l'activité optique et les hydrates de carbone. La seconde partie sur la série *homocyclique* est de F.-L. Pyman (traducteurs D. Florentin et R. Schmutz) ; elle relate quelques travaux sur les réactions catalytiques, l'orientation, l'empêchement stérique, etc., pour arriver aux composés aromatiques de l'azote et aux dérivés aromatiques de l'étain, du plomb et du silicium. Enfin une troisième partie, composée par A.-W. Stewart et traduite par R. Schmitz, nous fait connaître les travaux se rapportant aux séries *hétérocycliques.*

La revue des travaux de *Chimie analytique* est due à la plume

de C. Ainsworth Mitchell et a été traduite par L. Vernerd. Elle signale quelques nouveaux procédés d'analyse. Ce qu'il y a de plus intéressant à signaler, c'est qu' « en raison des diverses crises sur la plupart des matières, l'attention s'est portée sur la récupération des produits coûteux après leur emploi en analyse. On s'est efforcé aussi d'instituer des méthodes et d'imaginer des appareils permettant l'emploi de réactifs moins coûteux ou plus faciles à trouver dans le commerce. Par exemple, un alliage de 11 % environ de platine avec 89 % d'or a été substitué au platine pour la construction des appareils de chimie ».

Nous avons ensuite un rapport signé par E.-J. Russel et traduit par P. Roques sur la *Chimie agricole* et la *Physiologie végétale*. Nous y trouvons surtout une étude assez développée sur la nature du sol.

Les travaux de *Chimie physiologique* sont analysés par F. Gowland Bopkins (traducteur Ch. Digaud). Signalons quelques études sur les émulsions colloïdales (émulsoïdes), sur les facteurs chimiques du choc, et sur la dégradation biochimique du dextrose.

Enfin Frederick Soddy nous donne une analyse (traduite par H. Vandenberghe) des travaux exécutés en 1917 et 1918 dans le domaine de la *Radioactivité*. « Les progrès les plus importants ont trait à la découverte de l'ascendant de l'actinium. Non seulement le groupe des éléments radioactifs s'accroît d'un nouvel élément intéressant, mais l'ascendant de l'actinium complète sans doute leur longue suite de transformations. De très vastes recherches sur les rayons γ du radium jettent une nouvelle clarté sur les particularités observées dans l'absorption de ces radiations et sur leur longueur d'onde. On a tenté d'appliquer à tous les éléments le schéma de constitution atomique nucléaire de Rutherford-Bohr, tout en conservant les meilleurs traits de l'atome électronique de Thomson, et, dans cette voie, on peut s'attendre à de nouvelles recherches expérimentales ».

Une double table alphabétique des noms d'auteurs et des matières traitées clôture le volume et rend les recherches dans le volume éminemment faciles.

Qu'il nous soit permis en terminant, d'exprimer le vœu que M. Kling nous procure aussi, au moins le résumé des volumes de la collection parus pendant la guerre. Il n'y a aucun doute que dans ces nouveautés, peut-être déjà un peu vieilles, la plupart des chimistes trouveraient encore bien des épis à glaner.

J. Pauwels, S. J.

XVII

Popular Chemical Dictionary, par C. T. Kingzett, F. I. C., F. C. S. Un vol. in-8° de vi-367 pages, 78 figures dans le texte. — Londres, Baillière, Tindall and Cox, 1920.

Comme il le dit dans sa préface, l'auteur, en composant cet ouvrage, a voulu, en un volume de dimensions restreintes, et en un langage simple et intelligible pour tous, exposer les principales notions de chimie. C'est la forme de dictionnaire qu'il a adoptée, et par conséquent c'est par ordre alphabétique qu'il nous donne, non seulement la signification des mots employés en chimie et la description des principaux appareils et ustensiles employés, mais aussi la description des corps simples et d'un grand nombre de corps composés, tant minéraux qu'organiques, avec leur préparation, leurs propriétés et leurs principales applications, ainsi que les plus importantes des lois régissant les réactions chimiques ; un grand nombre de dessins, fort bien faits, viennent faciliter l'intelligence et la description des appareils et ustensiles.

Ce dictionnaire n'est certes pas un ouvrage dans le genre du dictionnaire de Wurtz. Il n'a d'ailleurs nullement la prétention de remplacer les manuels, même élémentaires, de chimie, et ce n'est pas tant aux chimistes de profession qu'il s'adresse qu'au grand public, qui, au milieu de ses occupations multiples et variées, peut cependant être amené à s'intéresser à quelque fait ou quelque notion d'ordre chimique.

L'utilité d'un pareil dictionnaire semble donc incontestable, et il est à espérer que l'exemple donné par C. T. Kingzett servira de stimulant à des chimistes d'autres langues pour rendre le même service à leurs compatriotes.

J. P.

XVIII

Correlaciones matematico-fisico-quimicas *(Extensión universitaria)*. Lecciones explicadas por el profesor Dr D. Zoël G. de Galdeano. Une brochure petit in-8° de 88 pages. — Zaragoza, G. Casañal, 1916.

Dans cette élégante brochure, l'auteur, qui est le grand mathématicien espagnol, expose la matière d'un cycle de dix leçons organisées sous les auspices de la Faculté des Sciences de

Saragosse et professées en 1915-1916. De ce qu'il s'agit d'un cours d' « Extension universitaire », beaucoup de personnes concluront que la matière est élémentaire. Il n'en est rien ! Ces très savantes conférences sont au niveau des cours justement réputés du Collège de France, et elles auront dû s'adresser à un public tout à fait sélect.

Voici les titres de ces dix leçons : 1. Corrélation entre les idées et les faits. — 2. La probabilité. — 3. Le nombre réel et le nombre idéal. — 4. La forme des phénomènes. — 5. Les lois de la Nature. — 6. Corrélations internes entre les faits. — 7. Corrélation transcendantale des faits. — 8. Les hypothèses. — 9. Le système de l'Univers. — 10. Le système mathématique.

On connaît le talent peu ordinaire qu'a M. de Galdeano de faire des exposés synthétiques très substantiels. Mais jamais on n'aura vu tant de matières dans un si petit espace ! Quel torrent d'idées ! Il n'est pas possible de résumer un tel travail. Par exemple, dans l'article sur la probabilité, l'auteur s'occupe de la mécanique statistique, de l'invariant intégral de Poincaré, de la répartition ergodique, etc. Le titre de la brochure est trop modeste, puisqu'il est question aussi d'astronomie et de géologie...

Tous les savants, au nombre d'environ trois cents, qui ont joué un rôle capital, sont cités, depuis Pythagore, Platon et Ptolémée, jusqu'à Galois, Abel, Sylvester, Helmholtz, Gibbs, Lie, van 't Hoff, Duhem, Curie, etc., etc., en passant par Copernic, Galilée, Newton, Gauss...

Que tous les hommes de science qui possèdent des connaissances mathématiques suffisantes et qui comprennent la langue espagnole se régalent en lisant ce remarquable travail ! Et espérons qu'on en fera des traductions. Il le mérite bien !

M. Lecat.

XIX

Traité pratique de sylviculture. Exploitation forestière et boisement, par L. Chancerel. Un vol. in-8° de VIII + 374 pages, avec 75 figures.

Flore forestière du globe. Traité pratique des arbres forestiers, par L. Chancerel. Un vol. in-8° de IV + 738 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Ces deux ouvrages méritent, sans conteste, d'attirer l'attention des lecteurs. Le premier est surtout destiné à présenter au

grand public les connaissances nécessaires pour l'exploitation rationnelle de la forêt. Actuellement ces connaissances sont de première importance par suite des dégâts occasionnés par la grande guerre à nos peuplements forestiers. Il faudra être plus que prudent dans l'exploitation des réserves qui nous restent, comme l'a dit très justement un forestier hollandais au Congrès du Sol, tenu à Djokja (Java), en octobre 1916 : « Un des plus importants devoirs du Gouvernement des Indes néerlandaises est de conserver l'état actuel des forêts, pour des raisons climatologiques et hydrologiques ; dans l'exécution de ce devoir un trop grand conservatisme sera moins néfaste qu'un trop grand libéralisme ».

C'est d'ailleurs ce que l'on pourrait conclure également de l'exposé que fait M. Chancerel, conservateur des eaux et forêts (France), qui, en dix chapitres de son premier volume, passe en revue ce qui a rapport aux forêts, à leur action et à leur protection. Ce sont ces deux derniers chapitres, le premier, en tête de l'ouvrage, « Les forêts et leur action », et le dernier, « Protection des forêts », qui ont pour le grand public le plus d'importance. Trop souvent on ignore la très grande action exercée par la forêt sur le climat : la présence de la forêt, la couche humifère que ses feuilles forment à la surface du sol ont un effet considérable sur le régime des eaux, car cette production de couche superficielle végétale a le pouvoir de retenir une quantité très notable d'eau ; d'où régularisation du régime des eaux par la suppression du ruissellement et par la régularisation des sources.

Dans les régions tropicales, la conservation des forêts est de première importance, car une fois celles-ci détruites, le ruissellement enlève toute la couche arable superficielle, dissout tous les produits utilisables pour le développement des végétaux et transforme, en peu de temps, un pays fertile en un vaste désert, qu'il deviendra difficile de retransformer plus tard en un terrain cultivable.

Dans les chapitres qui suivent, M. Chancerel examine les points suivants : Culture des bois. Notions générales. La futaie. Les taillis. Exploitations spéciales. Technologie forestière. Produits aligneux des forêts. Aménagements, estimation sur pied, vente, évaluation en fond et superficie, usufruit des forêts.

Nous ne pouvons naturellement examiner ici tous ces chapitres du *Traité* de M. Chancerel. Ils sont bien exposés et la manière dont ils sont présentés répond fort bien au but que s'était proposé l'auteur en écrivant son ouvrage : réunir, en un

minimum de pages, avec un maximum de clarté, toutes les principales connaissances que doit posséder un sylviculteur, un exploitant de forêts, un reboiseur. A ce point de vue l'ouvrage de M. Chancerel mérite des éloges.

Quant à la « Flore forestière du Globe », elle est un premier essai, qui, lui aussi, mérite d'être encouragé ; il n'existait pas de Flore forestière générale et, à ce point de vue aussi, l'ouvrage de M. Chancerel comble une lacune. Ce n'est naturellement qu'une œuvre de compilation, souvent de deuxième main, et il est peut-être regrettable que l'auteur n'ait pas cru devoir renvoyer aux ouvrages spéciaux ; cela aurait permis aux lecteurs de retourner plus facilement aux sources.

Pour chacune des espèces envisagées, l'auteur a passé en revue : les caractères botaniques et forestiers, les aires de dispersion, les stations, les sols préférés, les races sous lesquelles elles se présentent, la constitution et les propriétés des bois, les produits accessoires, les emplois culturaux des diverses essences et même les maladies et les ennemis.

L'auteur a mis en vedette le nom français, ce qui déroute parfois, car il n'y a pas toujours similitude entre les deux noms.

Malgré le bien que nous pensons de ce travail qui rendra des services, nous nous permettons de formuler le regret, l'ouvrage étant vraiment un dictionnaire, qu'au lieu d'une table systématique des espèces étudiées, il n'ait pas été dressé une table alphabétique des noms spécifiques, scientifiques et vernaculaires ; cela aurait fortement facilité les recherches.

Comme l'auteur n'a nullement la prétention de faire une flore complète et qu'il estime qu'il « appartiendra aux travailleurs de l'avenir » de parachever cette esquisse, nous lui souhaitons de reprendre bientôt ce travail dont il a, semble-t il, eu le premier l'idée et qu'il a eu le courage d'entreprendre. Nous voudrions qu'il pût nous donner dans un avenir peu éloigné une nouvelle édition ; elle permettrait à tous ceux qui s'occupent de forêts, en particulier de forêts coloniales, de se documenter de mieux en mieux sur les « immenses richesses forestières » de nos domaines coloniaux, richesses à peine entrevues, mais pour lesquelles la documentation, déjà si éparpillée, demande à être condensée dans un travail tel que celui que nous présente actuellement M. Chancerel.

É. D. W.

XX

Le Bilan géographique de 1914-1919 — (Frère Alexis M.-G.) — par Paul Dalle, Docteur en Sciences, 34e année. Un vol. in-8° de 80 pages. — Liége, Dessain, 1920.

Le 10 novembre 1910 mourait le Fr. Alexis-Marie Gochet, et bientôt après, dans la présente Revue (livraison de janvier 1911) le regretté P. Thirion lui consacrait une très instructive notice non oubliée. Parmi les ouvrages de vulgarisation auxquels le savant et modeste géographe belge consacra avec un rare bonheur et une persévérance inlassable sa science et ses talents, figure le *Bilan géographique* annuel, qu'il inaugura en janvier 1881 et qui ne subit, trente années durant, aucune interruption en sa régulière apparition. Dès janvier 1911, le confrère et successeur du Fr. Alexis — le Fr. Maubert-Justin (Paul Dalle, docteur en Sciences) — s'inspirant des notes manuscrites délaissées par le défunt et plus encore de l'esprit qui avait caractérisé durant un tiers de siècle la précieuse publication, fit paraître le *Bilan géographique de 1910*. Le public continua d'accueillir l'œuvre annuelle, signée par Paul Dalle, avec une faveur toujours croissante et continua de la désigner sous le titre devenu traditionnel, le « Bilan géographique du Fr. Alexis » (1). En 1914 éclata la grande guerre allemande : ce fut pour le *Bilan*, comme pour tous les autres périodiques de la science belge, la condamnation au silence forcé. Du reste, comment essayer, au travers de l'effroyable et sanglant gâchis dans lequel se débattaient l'Europe et le monde, de tracer un bilan géographique quelconque, et eût-on réussi à le composer, comment se résigner à soumettre son écrit à l'humiliante et obligatoire censure teutonne ?

Sous le titre de *Bilan géographique de 1914-1919 (34e année)*, le *Bilan* du Fr. Alexis renait enfin. Mais pourquoi ne pas avoir inscrit plutôt *39e année*, quitte à ajouter, entre parenthèses, *34e Bilan* ? — Le format qu'on lui connaissait, a été conservé ; le nombre accoutumé des pages a été triplé ou quadruplé. Une carte ouvre la brochure et donne le croquis géographique de

(1) Nous aimerions à voir le titre du *Bilan* se libeller suivant la formule très claire et aujourd'hui habituelle des périodiques scientifiques, dès qu'ils ont quelque longévité : Le Bilan géographique de 19..., *fondé par le* Fr. Alexis M.-G. *et continué par* Paul Dalle, *Docteur en Sciences*.

l'aspect actuel et provisoire de l'Europe d'après-guerre. En 80 pages d'un petit texte fort serré se succèdent et s'enchaînent les faits géographiques, les idées, les brefs et suggestifs commentaires. L'auteur et l'éditeur résolvent sans malheur le problème du maximum de documentation condensé dans le minimum d'espace. Le lecteur attentif admire l'abondance et la sûreté des renseignements fournis par chaque alinéa. Peut-être souhaiterait-il que cette brochure, équivalente par son contenu à un *justum volumen* ordinaire, prît un peu plus d'air et revêtît l'aspect attrayant des somptueux volumes de vulgarisation scientifique. Nous préférons, au contraire, que le *Bilan* du Fr. Alexis reste dans le cadre modeste et sérieux que lui a assigné son fondateur. Exprimons cependant le souhait que chacun des *Bilans géographiques* des années ultérieures soit à peu près égal en étendue à celui-ci. Au surplus, il importe qu'ils restent, comme celui-ci, accessibles facilement aux ressources pécuniaires, souvent très restreintes, de la jeunesse estudiantine.

Hâtons-nous de rappeler que les jeunes gens des écoles et des collèges ne forment qu'une portion des lecteurs habituels du *Bilan*. Le grand public s'intéresse à bon droit à cette science très vivante qu'est la Géographie, et au tableau annuel de l'incessant renouvellement de la face du globe. Rien n'est plus varié et plus attachant que ce sommaire périodique, où les voyageurs sont suivis dans leurs courses et les explorateurs dans leurs recherches ; où les stipulations politiques, modifiant tantôt les limites territoriales des États, tantôt leurs possessions coloniales, sont consignées et coordonnées ; où de nombreuses statistiques de divers ordres sont notées précieusement comme dans un aide-mémoire. Que l'on ait le loisir de cultiver la science pour la science ou que l'on soit profondément et à tout moment engagé dans les affaires, on prête volontiers attention aux bilans annuels de cette « science encyclopédique », — c'est ainsi que le Fr. Alexis appelait la Géographie, — « qui relève de toutes les » sciences physiques et naturelles et leur prête son concours, et » qui offre ses services à l'histoire, au commerce, à l'industrie, » aux sciences sociales et économiques » (1).

Ajoutons que, surtout en ces temps d' « après-guerre », on saura gré à l'auteur du *Bilan géographique* de ne point avoir écarté de son programme l'exposé de diverses questions, dont l'étude met incidemment du jour sur certains côtés de la politique générale.

L.

(1) Thirion, *art. cité*.

XXI

Essai de Géographie économique du Canada, par Henry Laureys, professeur à l'École des Hautes Études commerciales de Montréal. Un vol. in-8° de 280 pages. — Bruxelles, Falk, 1919.

L'ouvrage de M. Laureys n'est pas une étude sur le Canada ; les vues d'ensemble, les appréciations par leurs causes des situations économiques ne s'y rencontrent pas. Comme son sous-titre l'indique (résumé aide-mémoire), le livre tient le milieu entre le manuel et la table des matières. C'est un résumé très complet de tous les points qui pourraient être traités dans un article ou une étude spéciale. A cause des interruptions causées par la guerre, cet essai, paru en 1914, nous est resté longtemps inconnu, et malheureusement, après les changements que le Canada a réalisés tout récemment dans sa vie industrielle, le manuel se trouve dans ses statistiques et dans certains classements arrêté aux bases de 1913.

Puisque l'auteur nous expose l'organisation politique du pays, on regrette de ne pas voir un chapitre consacré à la question financière et bancaire. Le tableau du réseau des voies navigables est très complet, mais pourquoi l'auteur qui nous précise la longueur de tous les canaux ne nous donne-t-il pas aussi leur profondeur, ce qui nous permettrait d'apprécier plus justement leur importance ?

Rajeuni et mis à jour, cet aide-mémoire rendra service à ceux auxquels il est destiné, aux élèves dont il facilite le travail.

J. C.

XXII

Les Entreprises industrielles. Fondation et Direction, par André Liesse. Un vol. de 205 pages. — Paris, Librairie de l'enseignement technique, 1919.

L'avant-propos de cet ouvrage en définit exactement l'objet et le caractère. Ce livre, y lisons-nous, a pour origine les conférences faites par l'auteur, en 1916-1917, au Conservatoire National des Arts et Métiers. Le sujet choisi avait trait aux préoccupations que faisait naître la guerre touchant l'avenir écono-

mique du pays. Dès cette époque, il était facile de voir que l'œuvre de reconstitution ne pourrait être accomplie que par le développement intense de la production industrielle. Or, l'organisme par excellence de la production économique est l'entreprise. Cet ouvrage a pour objet de définir cet organisme et d'étudier ses conditions de vie.

Sans doute, on ne crée pas par l'enseignement des chefs d'entreprise. Il n'en est pas moins utile d'éveiller l'esprit de ceux chez qui se trouvent les qualités requises pour cette difficile fonction, de leur ouvrir des vues, de leur permettre d'apprécier leurs forces et de mesurer l'étendue et la grandeur de la tâche qui s'offre à eux. N'est-il pas utile aussi d'aider ceux dont la vie est absorbée par le souci des affaires à passer en revue et à relier, dans un ensemble, toutes les conditions de la fonction qu'ils remplissent ?

L'autorité reconnue de M. André Liesse nous dispense de détailler les mérites de son ouvrage dans lequel les chefs d'entreprise puiseront d'utiles enseignements et de judicieux conseils.

V. F.

XXIII

Cours de Législation du Travail et de Prévoyance sociale, professé à l'École Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie, par Daniel Massé et Bovier-Lapierre. — Neuvième édition, revue et augmentée. Publié dans l'Encyclopédie industrielle et commerciale. Un vol. de 488 pages. — Paris, Librairie de l'enseignement technique, 1919.

Méthodique et clair, l'ouvrage de MM. Massé et Bovier-Lapierre réalise les deux qualités maîtresses d'un texte de cours.

Il traite successivement des conventions relatives au travail, de la réglementation du travail, de la prévoyance sociale. Le principe de cette division est pris de l'ordre des faits et se retrouve dans le détail de chaque livre, autant que la matière le permet. Ainsi, le premier livre traite du contrat d'apprentissage, du contrat de travail, du salaire, du chômage, des contestations relatives au contrat, des grèves, syndicats et systèmes de conciliation, du contrat collectif. L'exposé est limpide et de nature à faire saisir sans effort, le but, le caractère et les principales dispositions de chaque loi.

Si une critique nous était permise, nous demanderions pour-

quoi l'assurance contre le chômage n'est pas reportée du livre premier au troisième qui traite de la prévoyance sociale. Peut-être eût-il mieux valu d'autre part ne pas englober dans le livre consacré à la prévoyance sociale le chapitre relatif à la coopération.

Ce Cours de législation a un autre mérite, celui d'être relativement concis, les auteurs ayant su garder la juste mesure dans le choix des détails à retenir.

V. F.

XXIV

Fuel Production and Utilization, par Hugh S. Taylor, E. Sc. Un vol. in-8° de xiv-297 pages. 17 figures. — Londres, Baillière, Tyndall, 1920.

La fabrication et l'utilisation du combustible, voilà bien un livre qui vient à son heure, maintenant que, pour des raisons diverses, nous sommes menacés d'une crise plus ou moins aiguë de combustible, et que, dans l'emploi de la houille, le mot d'ordre doit être : économie et surtout pas de gaspillage.

Le volume fait partie d'une collection éditée par Sr. Samuel Rideal D. Sc. Lond., F. I. C. sous le nom de « Industrial Chemistry, being a series of volumes giving a comprehensive survey of the chemical Industries ». Le but de cette collection est de donner une vue d'ensemble sur les principales industries chimiques et de montrer comment, d'une part, les théories et les nouvelles découvertes faites en chimie ont eu leur influence bien marquée sur le développement industriel, et comment, d'autre part, les exigences de l'industrie ont souvent provoqué de nouvelles recherches et amené de nouvelles découvertes. En bien des points, les volumes de cette collection s'écartent de la méthode classique, et cela surtout à cause de la variété des lecteurs auxquels ces livres sont destinés. En effet, comme nous l'apprend la préface générale, ils sont destinés d'abord aux hommes d'affaires qui n'ont pas une connaissance technique spéciale, mais qui, de temps en temps, peuvent avoir besoin de se mettre au courant de certaines notions techniques ou de trouver des références sur des questions techniques. Ils s'adressent surtout aux étudiants déjà avancés dans leurs études. Trop souvent, en effet, au sortir de leurs études, les étudiants ont la tête bourrée de faits et de détails au point de ne pouvoir se faire une idée

exacte de l'industrie dans son ensemble, et presque toujours ils se voient embarrassés par le manque de connaissance des conditions réelles dans lesquelles vit l'industrie. Ce qu'il leur faut, c'est donc la description des méthodes industrielles, telles qu'elles sont dans la réalité avec la récapitulation des notions scientifiques nécessaires. Enfin, on a voulu venir en aide à ceux qui, engagés dans une industrie, voudraient se remettre dans la mémoire certains procédés employés dans une autre, et qui pour cela préféreront se renseigner dans un ouvrage relativement court, plutôt que de devoir feuilleter les gros manuels classiques.

Pour se rendre compte de l'importance de l'ouvrage, il suffira d'en donner brièvement le contenu.

Le volume, au lieu d'être partagé en chapitres, est divisé en sections qui sont, pour ainsi dire, autant de monographies distinctes.

Dans l'Introduction, après avoir donné quelques détails sur les principaux combustibles naturels (pétrole, houille, lignite, bois, etc.) et sur quelques dérivés artificiels (coke, charbon de bois), l'auteur fait l'étude thermochimique du carbone et de l'hydrogène, les deux éléments combustibles par excellence, et examine le rapport qu'il y a entre la quantité de chaleur dégagée et la température obtenue, ce qui l'amène à parler de l'équilibre des gaz.

La section I traite de la combustion directe du charbon, et notamment étudie les réactions qui s'accomplissent pendant cette combustion, réactions beaucoup plus compliquées que cela ne paraît à première vue, et qui dépendent grandement des circonstances dans lesquelles se fait la combustion et principalement de la proportion d'air qui intervient. En général, la houille donne beaucoup de menu, et à part le menu provenant de la houille grasse, qui peut être transformé en coke, ou même brûlé comme tel dans des fours à grille, le reste ne peut être utilisé pour la combustion que dans des appareils spéciaux et avec une notable perte, à moins d'être transformé préalablement en briquettes. C'est ce qui amène l'auteur à parler ici de la fabrication des briquettes, des qualités qu'elles doivent avoir, et notamment des qualités que doit avoir l'agglutinant employé.

La combustion de la houille comme telle est loin de constituer un emploi idéal de ce combustible ; le mélange avec le comburant n'étant pas assez intime, la combustion n'est pas assez complète, et ne donne par conséquent pas la quantité de chaleur qu'on pourrait théoriquement obtenir. Le rendement est beau-

coup meilleur avec l'emploi du combustible pulvérisé. Employé d'abord dans la fabrication du ciment, ce mode de combustion a pu être étendu à toutes sortes de foyers, même aux foyers de locomotives, et l'auteur fait très bien ressortir les avantages que présente ce procédé de combustion.

La section II traite de la distillation de la houille, telle qu'elle se fait dans les usines de gaz d'éclairage d'abord, dans l'industrie des fours à coke ensuite. Elle étudie la composition, l'utilisation du gaz et des autres produits obtenus dans cette distillation.

Dans la section III, l'auteur examine plus particulièrement l'usage du coke dans les hauts fourneaux et la métallurgie en général, ce qui lui permet d'étudier les réactions qui s'accomplissent dans ces transformations et d'en déduire certaines conclusions pour l'usage économique du combustible ; ensuite il parle du coke pour la fabrication du gaz à l'eau, dont il examine la composition, les propriétés, les usages, etc. ; enfin il traite de la combustion du coke dans des générateurs de vapeur.

Dans la section IV, il est question de la gazéification de la houille ou de sa transformation en gaz de générateurs, gaz pauvre, etc., et de quelques-uns des procédés utilisés dans ce but, ainsi que la façon de récupérer l'ammoniaque.

Enfin la section V, qui est la dernière consacrée aux dérivés de la houille, traite des résidus de la distillation, goudron, benzine, cyclohexane, naphtaline, huile de créosote et d'anthracène, considérés comme combustibles.

Dans les dernières sections (VI-IX) l'auteur donne plus succinctement quelques notions sur les combustibles autres que le charbon et leurs principaux dérivés : le lignite, la tourbe, le bois, et enfin les combustibles synthétiques.

J. P.

XXV

L'unité de la Science, par M. Leclerc du Sablon, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse. Un vol. in-12 de 284 pages. — Paris, Alcan, 1919.

La pensée de fond de cet ouvrage est résumée par l'auteur lui-même dans ses conclusions. « Toutes les sciences se développent suivant la même voie. Le point de départ est fourni par l'observation directe de la nature ; puis, l'induction permet d'établir une série de lois qui ne sont autre chose que l'expres-

sion généralisée des phénomènes ; enfin, la science expérimentale est encadrée par une théorie où les lois et les phénomènes sont déduits de quelques principes posés *a priori*. Les méthodes employées successivement sont donc : l'expérience, l'induction, la déduction. Si les sciences se ressemblent par l'ordre général de leur évolution, chacune d'elles est caractérisée par son degré d'avancement, l'importance relative de chacune des trois phases : descriptive, inductive et déductive, et la nature des postulats que supposent les raisonnements inductifs ou déductifs ».

Les quatre premiers chapitres sont consacrés à la discussion de principes généraux : origine de la connaissance scientifique, principe de causalité, causalité inverse, non-réversibilité des phénomènes.

Ces questions philosophiques sont traitées avec bon sens, dans un langage clair et intelligible ; ce qui n'est pas toujours le cas.

Les solutions données par l'auteur au problème de l'origine des notions premières, de la valeur et du rôle de l'induction, du principe de causalité sont de bonne et saine philosophie. Discutant en particulier la théorie de M. Lachelier sur l'induction, M. Leclerc de Sablon montre, contrairement à l'opinion du philosophe — et avec raison, nous semble-t-il — que la causalité finale n'est pas un élément caractéristique de l'induction. Cependant, dans cette discussion qui touche au problème général de la connaissance, on aurait voulu voir précisé, mieux qu'il ne l'est, le sens du mot « objectif ».

Dans les chapitres suivants l'auteur étudie les sciences particulières. Il fait connaître leur objet, leurs méthodes caractéristiques, l'état actuel de leur développement. Faut-il s'étonner que, dans le nombre, quelques-unes de ces sciences, la mécanique, par exemple, ne soient pas scrutées avec la profondeur voulue? Nous passons en revue, au cours de l'ouvrage, l'arithmétique, la géométrie, la cristallographie, la mécanique, l'astronomie, la physique, la chimie, la physiologie (bioénergétique et excitabilité), la morphologie, les sciences morales.

Nous ne connaissons pas de meilleur ouvrage à conseiller aux personnes désireuses de se faire une idée générale de la méthode des sciences. Les savants eux-mêmes qui ont réfléchi parfois aux principes qu'ils invoquent ou appliquent à chaque instant y trouveront exprimées avec clarté ces lois de la recherche scientifique qu'ils ne se sont peut-être jamais adéquatement formulées.

D. T.

XXVI

La vie mode de mouvement. *Essai d'une théorie électronique des phénomènes vitaux.* Nouvelle étude, par E. Préaubert, professeur honoraire au Lycée d'Angers, président de la Société d'études scientifiques d'Angers, membre de la Société française de Physique, etc. Un vol. in-8° de 214 pages.— Paris, Alcan, 1920.

La lecture de ce livre nous fait regretter d'avoir accepté d'en rendre compte. Comment en parler avec équité ? Il ne serait pas difficile d'en présenter une amusante caricature, simplement par juxtaposition habile de passages ... inattendus. D'autres extraits, bien choisis, donneraient, au contraire, l'impression d'une parfaite tenue scientifique. Franchement, nous craignons qu'en voulant trop prouver, l'auteur n'ait dépensé en vain beaucoup d'érudition et d'ingéniosité. *Qui nimis probat, nihil probat.* Moins ambitieux dans son but et sa conclusion, ce livre eût pu être utile et suggestif.

Laissons la parole à l'auteur lui-même : « Déjà en 1897, j'ai publié, dans le Bulletin de la Société d'Études scientifiques d'Angers, un premier travail intitulé : *La vie mode de mouvement. Essai d'une théorie physique des phénomènes vitaux.* Ce travail résumait une série de recherches personnelles, poursuivies depuis 1878, tendant à démontrer que le dynamisme vital ne peut trouver d'explication satisfaisante que dans l'intervention de l'ultramatière (électricité, éther). Depuis cette première publication, les sciences physiques se sont enrichies de connaissances précieuses sur la constitution intime de la matière. Ces données nouvelles m'ont permis de préciser certains points restés jusqu'alors pour moi dans l'indécision, notamment le siège vraisemblable de la vie ; elles m'ont facilité l'édification d'une théorie embrassant l'universalité des phénomènes biologiques, sans oublier la question d'origine. » (*Avant-propos,* pp. 1-2.)

Cette théorie, en voici, en deux mots, le principe. Il y a antagonisme entre le dynamisme physique et le dynamisme vital. Comment les concilier ? Car « il faut que la constitution de l'Univers soit telle qu'elle rende compatibles simultanément d'une part l'*ordre physique* et d'autre part ce qu'on pourrait appeler *le contraire de cet ordre,* c'est-à-dire, *la vie* » (p. 7). « En bonne logique, il est impossible d'expliquer la biologie à l'aide d'un principe immatériel. Mais il est peut-être loisible de rajeunir la

théorie spiritualiste en substituant au concept du *principe immatériel* le concept d'un principe *infiniment peu matériel,* d'un principe qui soit sur la limite entre la matérialité et la non-matérialité » (p. 8). Nous y voilà : « Qu'est-ce qu'un principe pouvant agir, malgré une masse infiniment petite, mais grâce à une très grande vitesse, si ce n'est un *électron ?* On pourrait même dire que c'est la définition même de l'électron. Le substratum du dynamisme vital serait donc la matière électrique » (p. 8).

Posons que la vie soit une activité propre de l' « ultramatière ». « Toutefois, nous nous heurtons dès l'abord à une difficulté grave ; c'est que, dans toutes ses manifestations physiques (électricité, magnétisme, optique) l'ultramatière obéit, elle aussi, rigoureusement au déterminisme physique. Il faudrait donc imaginer un îlot d'ultramatière qui fût soustrait à ce déterminisme ... » Or, « nous savons ... que le groupe d'électrons, constituant la masse interne de l'atome, jouit d'une indépendance absolue vis-à-vis du monde extérieur. Il suffirait donc que ce groupe d'électrons, qui, en temps ordinaire, fait bande à part, fût amené par des circonstances particulières à s'ingérer dans l'administration du monde extérieur ; et de cette ingérence même résulterait la vie » (p. 11). La vie serait, identiquement, l'*énergie intra-atomique* modifiant le déterminisme extra-atomique.

« La question qui se pose maintenant est donc la suivante : Oui ou non, l'intra-atomique intervient-il en biologie ? » (p. 12.)

L'auteur s'attache à montrer que toute une série de manifestations vitales — y compris les phénomènes psychiques, qui, assure-t-il, sont l'apanage de tout vivant — restent inexplicables par les lois de l'extra-atomique et reposent donc, en dernière analyse, sur l'irruption de l'intra-atomique. Du train dont il y va, nous nous étonnons que le hardi théoricien ne fasse point intervenir l'*intra-atomique vital* selon une $(3 + n)^{\text{ème}}$ dimension de quelque hyperespace, ce qui serait assez conforme aux théories physiques actuelles et permettrait d'esquiver les difficultés que soulèvent les phénomènes morphogénétiques, rebelles souvent aux lois spatiales euclidiennes de l'extra-atomique. Pour ce que coûtent les hypothèses ...

En définitive, qu'est-ce alors qu'un être vivant ? C'est un édifice d' « atomes vivants (qui) établissent entre eux des *isthmes dynamiques,* faisant pont de l'un à l'autre. Ces isthmes (expansions de l'énergie intra-atomique) sont exposés aux chocs du

monde extérieur et ces chocs peuvent retentir jusque dans l'*intérieur de l'atome* » (p. 56).

« La plupart des systèmes philosophiques font la distinction entre l'âme et le corps ; nous sommes dès lors portés à dire que l'âme, c'est l'*intra-atomique*, et que le corps, c'est l'*extra-atomique* » (p. 56). « Étant donné que l'intra-atomique est indissolublement lié à l'extra-atomique, il en résulte que l'âme ne saurait en aucune façon être séparée du corps. Par conséquent, sont illusoires et chimériques toutes les théories d'extériorisation de l'âme ou de survie indépendante » (p. 57, note).

Quoi de plus simple et de plus lumineux ? L'auteur repart, plein d'optimisme : « Comme ces pionniers qui ont découvert une piste heureuse, nous nous aventurerons dans cette voie nouvelle pour en rechercher les aboutissements » (p. 58). Et il assiste au défilé triomphal des « grands problèmes de la biologie » désormais résolus : « le mécanisme psychique », « le libre arbitre », « l'impératif catégorique », s'il vous plaît, « la conscience », « l'évolution », « l'être vivant universel ». Partout l'intra-atomique est le « Sésame, ouvre-toi ».

Oui, sans doute ; mais encore faut-il que l'énergie intra-atomique, pour devenir « la vie », soit déchaînée hors de l'étroite prison où elle est confinée, et pour cela, nous assure M. Préaubert, il ne faut rien moins qu'une « révolution ». Quelle sera donc l'énergie formidable, capable de briser les parois du cachot atomique ? Évidemment, l'électricité, rien que l'électricité ; et cela, moyennant une variation de potentiel si énorme, qu'elle « soit sur la limite des choses possibles » (p. 106).

Or, poursuit-il, « nous ne voyons comme pouvant répondre à ce programme que, seules, les fulminations atmosphériques » (p. 106), la foudre. Et voici donc la genèse de la vie : au sein des grands orages de la période précambrienne, parmi les pluies torrentielles, l'énergie vitale intra-atomique se manifesta d'abord sous la forme de « globes électriques », dont nous avons encore aujourd'hui des exemples — assez rares — dans la « foudre en boule ». La dynamique propre du « globe électrique » présente, en effet, tous les caractères de l'activité vitale, physique et psychique : non seulement il se divise par scissiparité et se conjugue avec son semblable, mais il perçoit, se souvient et se meut librement ! « En définitive, le globe électrique apparaîtrait avec tous les attributs fondamentaux de la vie ; ce serait le représentant primordial de l'être vivant universel » (p. 111). Bien sûr, il s'agirait là d'une « phase préprotoplasmique » de la vie.

Dans le « globe électrique » s'effectuent les synthèses organiques primordiales d'où sortiront les albumines du protoplasme. Mais cette seconde étape de la vie — phase marine — est moins intéressante, certes, que la libération première de l'énergie vitale sous la forme d'éclairs en boule. Là triomphe, incontestée, l'originalité de M. Préaubert.

Mais, dira-t-on, il n'y a pas d'apparence que la foudre en boule, malgré son allure « de jeune chat », propage aujourd'hui de la vie sur notre globe. « Pourquoi la vie du globe électrique est-elle si courte, et sans postérité ? Il est vraisemblable que les conditions atmosphériques actuelles ne sont plus assez favorables pour que le globe électrique puisse évoluer jusqu'à la forme protoplasmique, en condensant et combinant les éléments constitutionnels de l'air... » (p. 109). On aurait mauvaise grâce d'insister.

Nous ferions tort à M. Préaubert en terminant sur ces dernières citations. Il y a, dans son livre, l'exposé de quelques recherches personnelles qui ne manquent pas d'intérêt, encore qu'elles ne comportent point les conclusions démesurées qu'en tire leur auteur. Celui-ci abuse vraiment un peu du raisonnement extensif et de l'analogie. Que ne s'est-il borné à appeler l'attention des biologistes sur la part possible, ou même probable, de l'énergie intra-atomique et de la dynamique des électrons dans le mécanisme des phénomènes vitaux !

J. Maréchal.

XXVII

Le Problème de l'espace, par L. Alvarez de Toledo. Un vol. (23×15) de 304 pages. — Paris, Alcan, 1920.

« Un enchaînement de pensées et de recherches dirigées vers une idée unique... : Qu'est-ce qui nous empêche d'atteindre la quatrième dimension de l'Espace ? », a conduit l'auteur à « sept années de réflexion et de concentration », et de lectures, dont ce livre veut faire part.

On y trouve des choses de toutes sortes. Quoi d'étonnant ? « L'Espace est constitué de tout ce que Dieu a créé »... « Nous devons admettre que l'échelle si vaste du tout se compose d'un très grand nombre de degrés, et que chaque degré correspond à un état. De chacun de ces degrés, l'être qui correspond à cet état aura une vue propre de l'espace qui l'entoure, et, en com-

mençant par les degrés inférieurs, nous saurons qu'à l'être occupant le premier échelon correspondra le premier état,... et ainsi de suite jusqu'à l'être occupant l'échelon n auquel correspondra le $n^{ième}$ état, c'est-à-dire un nombre n d'espaces ». « Qu'est-ce qui nous empêche d'admettre la possibilité de reculer les limites de notre espace, c.-à-d. d'envisager pour nous la possibilité d'occuper le quatrième échelon auquel correspond le quatrième état, c.-à-d. un espace à quatre dimensions ? »

Dans la première partie l'auteur résume quelques lectures sur les trois espaces euclidien, lobatcheffskien et riemannien et l'hyperespace.

Dans la seconde partie il explique, en développant avec enthousiasme la théorie du sens de l'espace d'Élie de Cyon, comment nos organes sont faits pour un espace euclidien ; il ne résiste pas à l'envie d'ajouter quelques paragraphes sur le sens du temps, sur les erreurs dans la perception des directions et sur les maladies de l'orientation et de l'équilibre.

La troisième partie est originale. Elle apprend que si l'homme par sa nature empiète « d'une manière infinitésimale » sur le quatrième espace, comme la droite empiète sur l'espace à deux dimensions par son « infinitésimale largeur », c'est dans la direction spatiale de la quatrième dimension que *doit* et *va* se faire l'évolution de l'humanité. « Ce sera par le développement et la concentration de nos facultés mentales que nous parviendrons à l'élargissement de notre champ spirituel, c.-à-d. en développant l'organe invisible de la vue interspatiale qui nous conduira, nous et notre race terrestre, à la possession du domaine de la pensée supérieure ».

« Si l'organe percepteur des vibrations venues du quatrième espace, qui est en même temps le siège de la vue interspatiale, c.-à-d. de la fonction la plus spirituelle de notre âme, si cet organe existe, et il doit exister, il ne peut être situé que dans la région frontale, d'abord à cause du pressentiment infaillible qui nous fait attribuer à la clarté de certains fronts humains la plus noble et la plus pure des missions spirituelles, ensuite à cause du voisinage des lobes frontaux dans lesquels doivent être localisés « les processus psychiques les plus élevés ».

Ces extraits suffisent pour caractériser ce livre déconcertant.

L'auteur avertissait le lecteur dans la préface : « Il a fallu que j'écarte dans cette troisième partie toutes les barrières qui circonscrivent habituellement le champ de nos recherches scientifiques ; pour franchir le troisième espace, il est indispensable

de briser bien des ponts derrière soi. Ce geste ne m'a pas ému ; ce qui m'a ému, c'est la lumière que j'apercevais parfois au fond de certaines de mes pensées, et cette lumière unique était la plus belle récompense à mon geste démolisseur ».

Il renversait une première barrière dès le début de son introduction : « Ma conception de l'Espace est très simple : pour moi il est tout ce qui est ». Cette conception qui assimile le domaine de l'esprit à celui de la matière, est-elle vraiment si simple ? Si notre connaissance des choses de l'esprit est conditionnée par leur analogie d'être avec les choses matérielles, objet propre de nos facultés humaines, il faut se garder d'attribuer à l'esprit les propriétés qui, précisément, en distinguent la matière.

H. D.

XXVIII

Il Trattamento « morale » dello Scrupulo e dell' Ossessione morbosa. Volume primo : *Questioni teoretico-pratiche fondamentali.* Volume secundo : *Punti di vista morali e morali-religiosi da utilizzare nella cura,* par M. Natale Turco. 2 vol. in-8°, xii-497 pages et 473 pages. — Turin, Marietti, 1919-1920.

M. Natale Turco nous présente deux imposants volumes sur « le traitement moral du scrupule et de l'obsession morbide ».

Il se réclame volontiers de l'autorité du R. P. Eymieu, son prédécesseur dans cette voie, pour lequel il professe, à juste titre d'ailleurs, la plus fervente admiration. Est-ce à dire que l'œuvre de M. N. Turco ne soit qu'un écho des volumes bien connus du R. P. Eymieu ? Ce dernier serait le premier à protester contre un rapprochement aussi excessif : l'ouvrage italien et les ouvrages français qui l'inspirèrent diffèrent à la fois par le point de vue prédominant et par le genre de services qu'ils sont appelés à rendre.

Le R. P. Eymieu, dans une lettre-préface, note spirituellement cette opposition au sein même de l'harmonie : « Je suis prêtre, et, traitant du scrupule, j'ai prétendu faire de la psychologie ; vous êtes laïque, et, dépassant la science sans aucunement la dédaigner, vous nous conduisez en pleine théologie, en plein surnaturel » (Lettera-prefazione, p. ix). Cette remarque, légèrement paradoxale, empruntée aux auteurs eux-mêmes, ne doit — faut-il le dire ? — jeter aucun discrédit sur la psychologie, très fine, de l'un, ni sur la théologie, très sûre, de l'autre.

Le livre de M. Natale Turco est, sans doute, un peu long et trop touffu, mais avec cela, toujours clair et très agréable à lire. Écrit avec cœur, il témoigne en outre d'une sérieuse expérience personnelle et de beaucoup de lecture. N'ayant rien d'un manuel pédant — pas même la sobriété — il convient peut-être moins au pur psychologue, qui abstrait et s'abstrait, qu'aux « malades, médecins et confesseurs » immédiatement aux prises avec la complexité des états d'âme réels et l'ampleur multiple des problèmes pratiques. Puisque, dans la réalité, tout confine à tout, on pardonne volontiers à l'auteur de paraître disserter quelquefois « de omni re scibili ». D'autant plus que la « dissertation » occasionnelle est généralement celle qui peut éclairer et encourager, ou en tous cas intéresser. La lecture du livre de M. Natale Turco fera du bien avant tout aux malades eux-mêmes ; et il aidera, croyons-nous, les directeurs à acquérir cette sympathie clairvoyante et cette délicatesse de touche que réclame le traitement de leurs clients scrupuleux. Oserions-nous ajouter qu'une certaine propension de l'auteur à trop étendre son point de vue, par exemple à transformer souvent une monographie sur l'état scrupuleux en un traité général d'ascétisme, offre du moins cet avantage de replacer constamment la cure du scrupule dans l'ensemble de la vie spirituelle : l'expérience montre, en effet, qu'il y a bien des inconvénients à prétendre guérir le scrupule sans un souci toujours présent de la perfection chrétienne dans toute son ampleur.

Nous nous réjouissons de devoir, en définitive, féliciter l'auteur de ses défauts eux-mêmes, ou, plus exactement, de cette richesse exubérante, que, du point de vue sévèrement scientifique, nous avons la hardiesse de tenir pour une imperfection.

J. Maréchal, S. J.

XXIX

La Raison et la Vue, par Frank Grandjean, docteur ès-lettres, professeur à l'Université de Genève. Un vol. in-8° de 374 pages (Bibliothèque de Philosophie contemporaine). — Paris, Alcan, 1920.

M. Grandjean, disciple de M. Bergson, dont il a étudié la philosophie dans de récents ouvrages, expose, dans le présent volume, les premières lignes de son système à lui, la première partie de sa critique de la connaissance.

Le traité, dirions-nous volontiers, est un effort pour rationaliser le Bergsonisme. M. Grandjean y revendique, à côté de l'intuition, une place pour la raison. Seulement, par la raison, il n'entend pas la faculté de l'inconditionné à priori ; il ne voit en elle qu'une puissance d'origine empirique et assez semblable à la vue. Cette similitude avec la vue pourrait même expliquer la genèse, l'importance, les procédés, les principes, les catégories de la raison.

Cette explication, — et l'introduction, dans le Bergsonisme, d'une raison ainsi conçue, — ont pour l'histoire du système une importance qui les signale à l'attention. Nous laissons à de plus compétents de décider si elles en respectent le mouvement, si elles en assurent les richesses, si elles en accomplissent les promesses.

E. M.

XXX

Mémoires sur la respiration et la transpiration des animaux, par André-Laurent Lavoisier. Un vol. in-16 de VIII-66 pages.

Observations et expériences faites sur les animalcules des infusions, par Lazare Spallanzani. Deux vol. in-16 de VIII-105 et 122 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

M. Solovine vient de publier trois nouveaux volumes de la collection : *Les Maîtres de la pensée scientifique.*

On connaît, ou plutôt on ne connaît pas assez l'œuvre de Lavoisier. Déjà en 1777 Lavoisier ébaucha la théorie de la combustion respiratoire dans ses *Expériences sur la respiration des animaux et sur les changements qui arrivent à l'air en passant par leurs poumons,* qu'il compléta en 1785 par ses recherches sur l'*Altération qu'éprouve l'air respiré ;* mais c'est dans les deux *Mémoires sur la respiration et la transpiration des animaux,* publiés en commun avec Seguin en 1789 et 1790, qu'il traita le sujet d'une façon vraiment magistrale. Non seulement il y posa les fondements d'une explication physico-chimique des phénomènes vitaux, mais encore des processus psychiques eux-mêmes. « Ce genre d'observation, conclut-il, conduit à comparer des emplois de forces entre lesquelles il semblerait n'exister aucun rapport. On peut connaître, par exemple, à combien de livres en poids répondent les efforts d'un homme qui récite un

discours, d'un musicien qui joue d'un instument. On pourrait même évaluer ce qu'il y a de mécanique dans le travail du philosophe qui réfléchit, de l'homme de lettres qui écrit, du musicien qui compose. Ces effets, considérés comme purement moraux, ont quelque chose de physique et de matériel. »

Tous les travaux de Lavoisier sont marqués au coin du génie. Le lecteur reconnaîtra avec plaisir dans cette œuvre fondamentale de l'illustre chimiste une méthode scientifique rigoureuse, un exposé élégant, tout limpide, une œuvre achevée, même au point de vue littéraire. Les travaux scientifiques n'ont plus, hélas ! de nos jours, cette belle et noble tenue.

Spallanzani est un précurseur de Pasteur, et son émule par la précision de la méthode expérimentale et de l'argumentation. Dans les *Observations et Expériences faites sur les animalcules des infusions*, il s'est donné pour tâche de réfuter l'idée, très répandue alors et acceptée par Needham et Buffon, que ces êtres naissent de matières en décomposition ou putréfaction, et de fournir la preuve qu'ils sortent de germes comme tous les autres animaux. Ces recherches sont conduites avec une précision telle, les preuves positives et négatives sont si variées et si fortes, que sa thèse s'impose avec une force invincible.

F. W.

XXXI

Recettes domestiques et rurales. Un volume de 480 pages. — Paris, Bonne Presse, 1920.

C'est un trésor de connaissances pratiques, trésor par les mille industries qu'il révèle et par les économies qu'il enseigne.

En somme, c'est la collection complète des recettes qui parurent dans les nombreux volumes du Cosmos, la Revue scientifique si goûtée d'avant la guerre.

XXXII

Iberica, Revue hebdomadaire illustrée. — Observatorio del Ebro, Espagne.

La Revue espagnole des sciences et de leurs applications a ait paraître un numéro de luxe destiné à la faire connaître

davantage. Nous ne pouvons qu'applaudir au succès de cette publication qui joint au mérite de répandre la bonne semence scientifique par d'excellents articles de vulgarisation, celui de réunir dans ses nombreuses annonces les principales firmes espagnoles et sud-américaines pour la fabrication industrielle et scientifique.

LISTE DES OUVRAGES

DONT LA REVUE PUBLIERA L'ANALYSE DANS UNE PROCHAINE LIVRAISON

Cours d'astronomie, par M. Alliaume. — Louvain, Uystpruyst; Paris, 1920.
Thermodynamics for Engineers, par J. A. Ewing. — Cambridge, 1920.
Le dottrine moderne della delinquenza, par A. Gemelli.
Religione e scienza, par A. Gemelli. — Milan, 1920.
Introduction a la théorie des courants téléphoniques et de la radiotélégraphie, par J. B Pomey. — Paris, 1920.
Lehrbuch der experimentellen Psychologie, par J. Fröbes. Zweiter Band. — Freiburg, 1920.
Théorie des hélices propulsives, par A. Rateau — Paris, 1920.
Galileo e la sua condanna, par R. Maiocchi. — Milano, 1919.
I fenomeni elettro-atomici, par A. Righi. — Bologna.
Étude de quelques problèmes de radiotélégraphie, par A. de Bellescize. — Paris, 1920.
La crise du combustible et ses remèdes, par A. Witz. — Paris, 1920.
La science et l'industrie françaises en 1919-1920, par H. Willotte. — Paris, 1920.
Le soufflage du verre, par H. Vigreux. — Paris, 1920.
Causeries sur des questions d'hygiène morale, par X. Francotte. — Liége, 1919.
La part des croyants dans les progrès de la science, par A. Eymieu. — Paris, 1920.
The group mind, par M. Dougall. — Cambridge, 1920.
Les médications psychologiques, par P. Janet. — Paris, 1919.
Les problèmes de la philosophie et leur enchaînement scientifique, le donné et l'objectif, par P. Dupont. — Paris, 1920.
Du rôle de la mémoire dans nos conceptions métaphysiques, par E. d'Eichtal. — Paris, 1920.
La responsabilité, par P. Fauconnet. — Paris, 1920.
Lectures on the Theory of plane curves, par Ganguli Surendramohan. — Calcutta, 1919.
Œuvres de Halphen. — Paris, 1916 et 1918.
Euclid in Greek, par Th. Heath. — Cambridge, 1920.
Leçons élémentaires de physique expérimentale selon les théories modernes, par J. Tillieux. — Louvain, 1919.

REVUE

DES RECUEILS PÉRIODIQUES

HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES

La vie et l'œuvre de Pedro Nunes, par Rodolphe Guimarâes (1). — La notice du commandant Guimarâes est formée par une suite d'articles réunis en brochure, qui parurent, en français, dans les ANNAES SCIENTIFICOS DA ACADEMIA POLYTECHNICA DO PORTO (2). L'auteur y poursuit un but patriotique : engager le Gouvernement portugais à faire les frais de la réédition des œuvres de Nunes sous le haut contrôle de l'Académie des Sciences de Lisbonne. Le Portugal ferait ainsi pour son plus illustre, j'allais dire son seul vraiment grand mathématicien antérieur au XIXe siècle, ce que la France, l'Italie, la Hollande, le Danemark ont fait respectivement pour Descartes et Fermat, Galilée et Torricelli, Huygens et Tycho Brahé. J'omets d'énumérer des noms tels que ceux de Lagrange, Cauchy, Laplace, pour m'en tenir aux savants dont les ouvrages ont aujourd'hui un intérêt historique plutôt qu'utilitaire ; mais à ce point de vue celui des œuvres de Nunes est considérable.

Stevin appela jadis mon attention sur l'illustre Portugais, par le ton élogieux dont il parle de son *Algèbre*. Je découvris un exemplaire de ce rarissime ouvrage, brutalement détruit depuis par les Allemands, à la Bibliothèque de l'Université de Louvain. Il me permit d'étudier l'algébriste portugais et me montra, une fois de plus, combien Stevin mérite d'être écouté quand il juge

(1) *Sur la vie et l'œuvre de Pedro Nunes*, par Rodolphe Guimarâes. Coïmbre, Imprimerie de l'Université, 1915 ; brochure in-8° de 88 pages.

(2) Tome IX, 1914, tome X, 1915.

les travaux d'autrui. Le résultat de mes recherches parut dans deux notes (1) que M. Guimarães me fait l'honneur de citer à plusieurs reprises. Je n'en pus faire alors davantage. Je connaissais bien, il est vrai, un exemplaire de la première édition du traité *De crepusculis*. Mais Delambre l'a analysé avec sa maîtrise ordinaire dans son *Histoire de l'Astronomie du Moyen-Age* (2). Il ne me semblait pas y avoir lieu d'y revenir. Quant aux autres écrits de Nunes, j'étais trop mal documenté en Belgique pour oser les aborder, malgré les pressantes instances de M. Guimarães.

Fort heureusement, mon très distingué correspondant s'est décidé à entreprendre lui-même une étude biographique et bibliographique sur son grand compatriote et l'a conduite à bon terme avec beaucoup de succès. C'est un travail complet et bien documenté. Une fois de plus, Nunes nous apparaît comme l'astre étincelant dont parle Maurice Cantor, qui, au XVIe siècle, brilla un instant dans le ciel portugais, sans que rien ne l'eût annoncé et sans laisser de traces après lui. Les œuvres de Nunes sont à peu près introuvables et leur réédition est à souhaiter.

Bibliographie sommaire de l'Œuvre Mercatorienne, par F. Van Ortroy (3). — Gérard Mercator appartient à la fois à l'histoire des mathématiques et à celle de la géographie. Sans doute le géographe l'emporte chez lui, et de beaucoup, sur le mathématicien. Mais, sa méthode de projection jouit d'une célébrité bien méritée, largement suffisante pour justifier l'analyse de la bibliographie sommaire de l'œuvre mercatorienne dans ce bulletin. C'est, d'ailleurs, avant tout le cartographe que M. Van Ortroy a étudié. Ce point de vue s'imposait, et il a permis à l'auteur de ne pas limiter l'œuvre mercatorienne aux travaux du grand Gérard, mais de l'étendre à ceux de ses fils, Arnold et Barthélémy, à ceux de ses petits-fils Gérard (II), Jean

(1) *Sur le « Libro de Algebra » de Pedro Nunes*. BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3e série, t. VIII. Leipzig, Teubner, 1908 ; pp. 154-169.

L'Algèbre de Pedro Nunes. ANNAES DA ACADEMIA POLYTECHNICA DO PORTO, t. III, 1908. Coimbra, Imprensa da Universidade, pp. 222-271.

(2) Paris, Courcier, 1919. Delambre y analyse plusieurs des ouvrages de Nunes (pp. 399-430) non pas d'après les éditions originales, mais d'après les *Petri Nonii Salaciensis Opera*, Basileæ, 1592.

(3) REVUE DES BIBLIOTHÈQUES. Paris, Édouard Champion, 1918-1920.

et Michel, à ceux, enfin, de Rumold Mercator dont le degré de parenté avec les précédents ne semble pas bien connu.

« Vu les circonstances, dit une note de la dernière page, les épreuves de l'article n'ont pu être communiquées à l'auteur. » Si je signale cette remarque, c'est que, dans d'autres travaux bibliographiques, M. Van Ortroy nous a habitués à une telle exactitude que nous acceptions tous ses renseignements avec une confiance absolue, sans songer le plus souvent à les contrôler. Le professeur de l'Université de Gand semble nous inviter lui-même, cette fois, à nous tenir un peu en garde. Nous lui en donnons acte, tout en lui assurant que sa bibliographie est excellente.

« La littérature mercatorienne, dit l'auteur en débutant, ne cesse de s'enrichir. Elle permettra bientôt une étude d'ensemble sur les réformateurs de la géographie dans les Pays-Bas au XVIe siècle. Mais avant de remettre sur le métier le remarquable travail que le Dr Van Raemdonck a consacré aux Mercator, il semble indispensable de publier une bibliographie provisoire de leurs œuvres. Puisse-t-elle nous valoir quelques bonnes communications, des documents, et surtout la connaissance la plus complète possible de la correspondance mercatorienne, qui a été très suivie, mais qui ne voit le jour que bribe par bribe ! »

Bribe par bribe, la réflexion n'est que trop vraie, et M. Van Ortroy eût pu ajouter que ces bribes doivent se rechercher dans les ouvrages et les recueils les plus divers, souvent rares ou du moins peu accessibles. Il est difficile de prendre de ces bribes une connaissance complète.

Mercator est l'un des plus beaux noms de la science belge. Il serait, en effet, bien à souhaiter de voir remettre sur le métier « le remarquable travail du Dr Van Raemdonck » — je fais mienne l'expression de M. Van Ortroy — de le reprendre en utilisant les documents que Van Raemdonck n'a pas pu connaître. Ce remaniement devrait être une large introduction à la correspondance des Mercator. Car il nous faudrait une édition complète de leurs lettres et des réponses qu'elles provoquèrent. Ajoutons, ce que M. Van Ortroy ne pouvait guère dire lui-même, que personne n'est mieux préparé que lui pour exécuter ces deux travaux. Espérons que malgré les difficultés du moment il nous les donnera sans trop tarder.

Voici, en attendant, le plan de sa bibliographie sommaire :

Gérard Mercator. A. *Manuscrits.* — B. *Travaux imprimés.*

1. Cartes volantes, mappemondes non comprises. — 2. Mappemondes. — 3. Sphères. — 4. Modèles d'écriture. — 5. Chronologie. — 6. Édition de Ptolémée. — 7. Atlas in-folio. — 8. Atlas minor.

Toute cette partie est d'un intérêt exclusivement géographique. Il n'en est plus de même de ce qui suit :

C. *Correspondance mercatorienne*. 1. Lettres écrites par Gérard Mercator. — 2. Lettres écrites par Rumold Mercator. — 3. Lettres adressées à Gérard Mercator. — 4. Lettres adressées à Barthélémy Mercator. — Requêtes et documents.

D. *Portraits de Gérard Mercator*. — E. *Membres divers de la famille Mercator*. — F. *Travaux consacrés aux Mercator et à leur œuvre*.

Note sur Jean Taisnier d'Ath, par Maurice Lecat (1). — Jean Taisnier d'Ath, médecin et mathématicien du XVIe siècle, qui eut jadis son heure de célébrité, est aujourd'hui peu connu, trop peu même. M. Lucien Godeaux de Liége a demandé, dans l'INTERMÉDIAIRE DES MATHÉMATICIENS, quelques renseignements biographiques et bibliographiques à son sujet (Question 3976) et M. Maurice Lecat lui a répondu dans le même recueil. Les notices relatives à Taisnier ne manquent pas, mais il faut les chercher dans des revues et des ouvrages si spéciaux, qu'à moins d'être initié à l'histoire locale du Hainaut, il est malaisé d'en soupçonner l'existence. Impossible de les énumérer ici, et M. Lecat n'en parle pas ; mais on trouvera l'indication de quelques-unes, parmi les principales, au mot « Taisnier », dans la *Liste provisoire des Lettres T et U, arrêtée le 1er janvier 1914 par la Commission de la Biographie Nationale* (Publication de l'Académie Royale de Belgique. Gand, Van der Poorter, 1914, in-4°).

Les usages de l'INTERMÉDIAIRE DES MATHÉMATICIENS imposaient à M. Lecat la plus grande brièveté. Sa note n'a que quelques pages, mais elle présente le mérite peu ordinaire d'être écrite par un géomètre d'une compétence indiscutée, doublé d'un bibliographe qui a fait ses preuves.

Le plus important des ouvrages de Taisnier est l'*Opus mathematicum octo libris comprehensum*... Coloniae Agrippinae, apud Birckmannum et Richivinum, 1562, in fol. La Bibliothèque Royale de Belgique en possède un exemplaire, qui appartint à

(1) INTERMÉDIAIRE DES MATHÉMATICIENS, t. XXI, Paris, Gauthier-Villars, 1914, pp. 161-164. Réponse à la question 3976.

Van Hulthem. Sur un des feuillets de garde, on lit une courte notice biographique de Taisnier, écrite de la main du grand bibliophile. J'en transcris le passage principal qui fait sommairement connaître le médecin mathématicien athois.

« Jean Taisnier, né à Ath en Hainaut, en 1509, avait été précepteur des pages de Charles-Quint, et suivit cet empereur, en 1535, dans son expédition de Tunisie, en qualité de médecin et de musicien. Il parcourut une partie de l'Asie et de l'Afrique, enseigna les mathématiques à Rome, à Ferrare, et devint directeur de la musique de l'Électeur de Cologne. Ennuyé d'une vie aussi errante, il revint dans sa patrie où il s'occupa de la rédaction de ses différents ouvrages. »

Van Hulthem ne donne pas la date de la mort de Taisnier ; mais dans son *Histoire des Sciences Mathématiques et Physiques chez les Belges* (Bruxelles, Hayez, 1864, p. 98), Quetelet la place en 1562.

Deux remarques de détail. M. Lecat met en doute, à tort, l'existence d'une réédition de l'*Opus mathematicum* en 1583. Elle parut à Cologne et a pour adresse d'imprimeur, « apud Theodorum Baunium, sub signo arboris ». La Bibliothèque Royale de Belgique la possède (V. 5299).

Ensuite, les *De annuli sphaerici fabrica et usu libri tres,* eurent une première édition à Palerme, en 1548, écrite en italien. Dans son excellente notice sur Jean Taisnier, M. Dewert en signale un exemplaire à la Bibliothèque de la ville d'Ath (Annales du Cercle archéologique d'Ath et de la région. T. I, Bruxelles, Hayez, 1913, p. 25).

Liste des médecins du XVIe siècle qui furent aussi mathématiciens, par D. E. Smith (1). — En décembre 1901, M. H. Brocard posait, dans l'Intermédiaire des Mathématiciens (2), la question suivante :

« Pourrait-on dresser une liste des mathématiciens, qui ont étudié, enseigné, ou exercé la médecine ? »

Ce problème présente de l'importance, du moins quand il s'agit de savants antérieurs au XVIIIe siècle, car il équivaut alors à peu près à cet autre : dresser la liste des professeurs d'université qui enseignèrent « ex professo » les sciences.

(1) *Medicine and Mathematics in the sixteenth century,* by David Eugene Smith, LL. D. New-York City. Annals of Medical History. New-York, 1917.

(2) T. VIII, p. 309.

L'année suivante, une réponse partielle fut donnée, dans le même recueil (1) à M. Brocard, sous la signature pseudonyme H. Braid. L'auteur s'y exprimait en ces termes :

« A l'Université de Louvain on vit fréquemment aux XVIe et XVIIe siècles, un même professeur occuper à la fois la chaire des mathématiques et celle de la médecine. Ce fut le cas, notamment, pour Gemma Frisius et son fils Corneille Gemma, pour P. Beausard, Adrien Romain, Jean Sturm, Gérard Van Gutschoven et bien d'autres. Il serait probablement fort aisé de dresser des listes analogues pour les autres universités... ».

Cette dernière phrase indiquait, semble-t-il, une voie assez naturelle à suivre. Il n'y fut pas fait attention. Bien plus, et peut-être à cause du caractère trop particulier, et par là même incomplet, de la réponse de Braid, cette réponse n'est pas signalée dans la Table des matières des XX premières années de L'INTERMÉDIAIRE.

M. David Eugène Smith de New-York vient, lui aussi, de chercher à résoudre la question de M. Brocard, dans les ANNALS OF MEDICAL HISTORY, en se limitant toutefois aux savants du XVIe siècle. Le travail débute par quelques pages de généralités, suivies d'une nomenclature assez fournie, où chaque nom est accompagné de l'une ou l'autre indication biographique fort brève. Les professeurs de Louvain mentionnés par H. Braid s'y retrouvent tous, à l'exception, bien entendu, de Jean Sturm et Gérard Van Gutschoven, qui appartenant, on le sait, au XVIIe siècle, sortent du cadre de M. Smith. Le lecteur qui désirerait, cependant, des renseignements sur ces deux derniers savants, les trouverait, pour Jean Sturm, dans l'*Histoire des Sciences mathématiques et physiques chez les Belges,* par Quetelet (2) et pour Gérard Van Gutschoven, dans l'*Histoire du Cartésianisme en Belgique,* par l'abbé Georges Monchamps (3), aux endroits indiqués dans la Table alphabétique des noms propres.

Les notations algébriques chez Oughtred, par Florian Cajori (4). — Wallis chercha jadis à faire passer Oughtred pour un génie supérieur, dont Descartes n'aurait été que le vil

(1) T. IX, p. 186.
(2) Bruxelles, Hayez, 1864, pp. 138-140.
(3) Bruxelles, Hayez, 1886.
(4) *A list of Oughtred's mathematical symbols, with historical notes,* by Florian Cajori. UNIVERSITY OF CALIFORNIA PUBLICATIONS IN MATHEMATICS, t. I, Berkeley, 1920, pp. 171-186.

plagiaire, exagération évidente ne supportant pas l'examen. Bientôt le chauvinisme s'en mêla et les Français eurent beau jeu à réfuter Wallis ; mais, comme souvent dans les discussions de ce genre, ils forcèrent la note et dénigrèrent outre mesure ce géomètre anglais. Sans être un Descartes, Oughtred a du mérite et son nom doit rester dans l'histoire. C'est ce que j'ai cherché à montrer, en 1911, dans mon mémoire : *La première édition de la Clavis Mathematica d'Oughtred, son influence sur la Géométrie de Descartes* (1). Je concluais en disant que la *Clavis* d'Oughtred tient, entre les travaux de Viète et ceux de Descartes, une place comparable à celle de l'*Invention nouvelle en l'Algèbre* d'Albert Girard. Si Descartes a connu le petit volume d'Oughtred, comme j'en suis, pour ma part, convaincu, — mais, sans avoir pu jusqu'ici, je l'avoue, le démontrer par un argument sans réplique — si cela est, dis-je, le philosophe français s'est servi de la *Clavis*, en artiste de goût et en mathématicien hors de pair. L'article de M. Cajori confirme cette appréciation. En groupant en tableau toutes les notations d'Oughtred, comme le fait le professeur de l'Université de Californie, on voit mieux combien Descartes a été heureusement inspiré en adoptant quelques-uns de ces symboles et en rejetant les autres.

Examinons l'article de M. Cajori de plus près. Son travail n'a que 16 pages, mais, elles sont bourrées de renseignements et doivent avoir demandé à l'auteur des recherches considérables. L'article débute par une bibliographie très fouillée de l'œuvre d'Oughtred, dont M. Cajori semble avoir eu toutes les éditions sous les yeux. Je l'en félicite, car plusieurs de ces éditions sont fort rares, et on sait qu'elles diffèrent beaucoup entre elles.

Après la bibliographie, vient le tableau des notations, qui occupe cinq pages. C'est la partie la plus originale de l'article. M. Cajori divise chaque page en treize colonnes. Dans la première il écrit, les uns sous les autres, les symboles souvent bizarres employés par Oughtred, soit environ 35 par page. En regard, dans la seconde colonne, M. Cajori traduit les symboles d'Oughtred en notations modernes ; puis, dans les colonnes suivantes, qui portent en tête le nom des diverses éditions, il indique une page de cette édition où la notation se rencontre. C'est très curieux, mais, après avoir pris connaissance du fouil-

(1) Annales de la Société scientifique de Bruxelles, t. XXV, 2e partie, pp. 24-78.

lis d'Oughtred, on se félicite que les notations du géomètre anglais n'aient pas prévalu. L'article de M. Cajori se termine par 29 notes historiques. Je recommande un si excellent travail à l'attention du lecteur.

La querelle de Descartes et de Fermat au sujet des tangentes, par G. Milhaud. — Aux yeux de beaucoup d'historiens des mathématiques, Fermat passe, non sans raison, pour le plus profond géomètre de la première moitié du XVIIe siècle. Il ne faut, cependant, pas l'oublier, le Conseiller au Parlement de Toulouse n'était pas un professionnel de la science. Il écrivait en amateur, non pas pour le grand public, mais pour un petit nombre de correspondants qu'il supposait très avertis de tout ce qui avait paru et très au courant des progrès de la géométrie. De là son habitude de se contenter d'indiquer en termes fort brefs ce qu'il croyait avoir trouvé de neuf, et d'entrer peu dans le détail des démonstrations. L'esprit de concision de Fermat, est entré peu à peu en usage, et sert de règle au grand nombre de nos contemporains.

Avec de multiples avantages, le procédé de Fermat présente néanmoins un écueil : celui d'exposer l'auteur à n'être pas compris, même par des lecteurs compétents. C'est ce qui arriva à Fermat, quand par l'intermédiaire de Mersenne, il fit parvenir à Descartes son mémoire *De Maximis et Minimis*.

La méthode que le Toulousain y expôsait repose sur l'idée suivante, mais qui n'y est, cependant, pas formulée explicitement. Si, en un point donné, une fonction passe par un maximum, ou un minimum, aux points immédiatement voisins situés de part et d'autre de ce maximum, ou de ce minimum, la fonction prend des valeurs qui sont deux à deux égales entre elles. De là cette règle : Soit

$$y = f(x)$$

la fonction à étudier. Donnons à x un accroissement h ; puis posons

$$f(x) = f(x + h)$$

développons, réduisons les termes semblables, divisons les termes restants par h, faisons enfin dans le résultat obtenu $h = 0$.

(1) Revue Générale des Sciences pures et appliquées, t. XXVIII, Paris, Doin, 1917 ; pp. 332-337.

L'équation finale permettra de déterminer la valeur de x pour laquelle la fonction passe par un maximum, ou un minimum.

On a répété à satiété que la règle de Fermat, parfaitement correcte et claire dans la pensée du géomètre toulousain, était énoncée, il est vrai, en termes un peu obscurs, mais faciles à corriger. Je n'y serais pas revenu, si, en la rappelant, je n'avais l'occasion de dire, que lorsque Descartes lut la règle, il n'y comprit rien, la critiqua aigrement dans sa réponse à Mersenne, la déclara fausse, et prétendit réfuter l'application que Fermat en faisait à la détermination des tangentes.

Il peut, à propos de cette réfutation, nous paraître étrange aujourd'hui que la première application de la méthode *De Maximis et Minimis* faite par Fermat lui-même soit la construction d'une tangente en un point pris arbitrairement sur une courbe. L'étonnement cesse si on se rappelle la définition courante de la tangente chez les géomètres grecs. Pour Apollonius, par exemple, la tangente est une droite qui rencontre la courbe en un point tel, que de part et d'autre, dans le voisinage immédiat de ce point, la courbe soit située d'un même côté de la droite. Donc, aux environs immédiats d'un point de contact, les ordonnées de la tangente sont, ou toutes plus grandes, ou toutes plus petites que les ordonnées de la courbe qui correspondent aux mêmes abscisses. Au moment où Fermat écrivait, il ne concevait probablement pas d'autre définition de la tangente. C'est au cours de la discussion *De Maximis et Minimis* que Descartes eut l'idée, alors neuve, de considérer la tangente comme limite des positions d'une droite mobile. Faut-il rappeler combien elle fut féconde ?

Mais, voici ce qu'il y a de plus surprenant chez un Descartes qui vient d'avoir pareil éclair de génie.

En guise d'exemple, Fermat, nous venons de le dire, appliquait sa méthode à la recherche de la tangente en un point de la parabole ordinaire. Dans sa démonstration, le Toulousain usait d'un théorème bien connu, relatif à cette parabole rapportée à son axe et à la tangente au sommet, à savoir, que le rapport des carrés des ordonnées aux abscisses est constant. Cette propriété est notoirement spéciale à la parabole ordinaire. Par quelle « aberration d'esprit » (l'expression est de M. Milhaud) Descartes ne vit-il pas qu'en employant ce théorème, Fermat exprimait simplement, à l'aide de l'équation de la parabole, que le point de contact était sur la courbe ? Mais non, il crut que, pour toutes les courbes, la constance du rapport du carré de l'ordonnée à l'abscisse était un élément essentiel de la méthode

de Fermat. Si cette méthode est correcte, dit-il, il faut, par la simple substitution des mots ellipse ou hyperbole, au mot parabole, que le raisonnement de l'exemple donné s'applique à ces deux courbes. Là-dessus, il divise la page de son manuscrit en trois colonnes, transcrit dans la première le texte de Fermat, puis, en regard, dans la seconde et la troisième colonne, il retranscrit le même texte en y effectuant les substitutions indiquées ; d'où il montre sans peine qu'il arrive à des conclusions erronées.

Par le peu que je viens d'en dire, le lecteur entrevoit sans doute combien l'article de M. Milhaud est intéressant. Mais, pour en apprécier toute la saveur, il est bon d'avoir les textes originaux sous les yeux. L'auteur cite, avec raison, l'édition des *Œuvres de Descartes* par Adam et Tannery. Peut-être cependant, n'est-il pas inutile de dire, en passant, que les pièces du débat se trouvent aussi, et même plus au complet, dans les *Œuvres de Fermat,* par Charles Henry et Paul Tannery. On peut y lire, notamment, la très importante lettre où Desargues donne à Mersenne son avis sur le différend.

Je ne puis quitter M. Milhaud sans signaler, dans la même année de la Revue générale des Sciences, un autre article dû à la plume du même auteur : *Descartes et l'Analyse infinitésimale*(1). Mais, je dois me borner à la simple transcription du titre de l'article, le peu de pages dont je dispose, ne me permettant pas de l'analyser.

Lettres inédites de Fermat publiées par C. de Waard (2). — Ces lettres sont au nombre de six, la première est de Roberval à Fermat, les quatre suivantes sont de Fermat à Mersenne ; la dernière n'a ni signature, ni nom de destinataire, mais, elle est de Fermat ou de Roberval. Toutes sont des copies de la main du célèbre François van Schooten extraites d'un manuscrit de l'Université de Groningue coté aujourd'hui 110, sur lequel M. C. de Waard nous donne les renseignements suivants :

« Ce manuscrit est constitué par un cahier de vingt-trois feuilles, petit in-folio, numérotées de 1 à 22, écrites au recto et au verso. Les écrits qu'il comprend datent de 1636 à 1642,

(1) Pages 464-469.

(2) Mémoires de l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse. Onzième série, t. V, Toulouse, Douladoure, 1917, pp. 71-88.

époque de la vie du géomètre toulousain où celui-ci était dans la plénitude de son talent et de son activité. Le manuscrit peut être divisé en deux parties. La première, qui comprend les feuilles 1 à 11, contient des écrits de Fermat déjà parus en grande partie, soit dans les *Varia Opera* de 1679, soit dans l'édition nouvelle des *Œuvres de Fermat publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Charles Henry,* Paris 1891-98. Le manuscrit de Groningue, comparé à ces deux recueils, présente quelques variantes ; il fournit en outre la rédaction française de l'une des pièces connue seulement jusqu'ici dans sa rédaction latine, ainsi que la fin de la pièce tout à fait inconnue jusqu'ici. Mais, l'intérêt principal du manuscrit de Groningue réside dans la deuxième partie, commençant au folio 12 et contenant des lettres de Fermat et d'autres géomètres. Parmi ces dernières pièces, certaines ont été publiées dans l'une ou l'autre des éditions des *Œuvres de Fermat*. Les lettres de Fermat que nous reproduisons plus loin, d'après le manuscrit, sont au contraire entièrement inédites ».

Ces pièces sont non seulement inédites, mais intéressantes et vraiment importantes, car il est fait de nombreuses allusions à plusieurs d'entre elles, dans la correspondance du toulousain, publiée dans les *Œuvres de Fermat* par Paul Tannery et Charles Henry. Les notes qui précèdent les nouvelles lettres sont courtes, bien faites, très utiles et mettent en bonne lumière chacune des lettres. On voit du premier coup d'œil ce qu'elles ajoutent de neuf aux documents déjà connus.

Nous croyons savoir que M. C. de Waard se prépare à nous ménager de nouvelles surprises relatives à la correspondance de Fermat. D'autres lettres inédites ont été découvertes dans des manuscrits de Florence et de Groningue ; mais, nous attendrons pour en parler que M. C. de Waard les ait données au public. Faisons des vœux pour que ce soit bientôt.

Les débuts de la Géométrie analytique de l'espace, par H. Wieleitner (1). — Si je signale, dans ce Bulletin, l'article, d'ailleurs intéressant, de M. Wieleitner, c'est moins à cause de l'importance des résultats obtenus, que pour avoir l'occasion de rappeler la difficulté d'une véritable histoire de la Géométrie

(1) *Die Anfange der analytischen Raumgeometrie.* ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATISCHEN UND NATURWISSENSCHAFTLICHEN UNTERRICHT ; t. XLIX, Leipzig, Teubner, 1918, pp. 73-79.

analytique. Il serait sans doute à souhaiter que chaque branche des mathématiques eût son histoire particulière, comme la Trigonométrie a trouvé la sienne dans les *Vorlesungen ueber Geschichte der Trigonometrie* de von Braunmühl (Leipzig, Teubner, t. I, 1900 ; t. II, 1903). Mais, ce n'est pas chose aisée quand il s'agit de la Géométrie analytique. L'érudit auteur des *Spezielle algebraische und transzendente ebene Kurven* (Leipzig, Teubner, 2e éd., t. I, 1910; t. II, 1911), M. Gino Loria semblait, par exemple, tout désigné, par ses travaux antérieurs, pour écrire l'histoire de la Géométrie analytique plane. On n'a pu l'y décider, et dans une note présentée, en 1904, au 3e Congrès international des mathématiciens réuni à Heidelberg, note intitulée : *Pour une Histoire de la Géométrie analytique* (1), le professeur de l'Université de Gênes a expliqué aux congressistes pourquoi il lui était impossible de mettre la main à une œuvre, que mieux que personne il paraissait capable d'entreprendre : les obstacles insurmontables qui l'empêchaient de se documenter complètement. Outre les grands mémoires et les ouvrages classiques que toute Bibliothèque d'Université possède, il lui eût fallu pouvoir consulter une multitude innombrable de brochures et de manuels scolaires aujourd'hui démodés, mais qui eurent leur influence réelle, parfois profonde, sur le développement de la science. Il n'y a pas jusqu'aux traditions orales des examens d'entrée aux grandes Écoles, dont il ne faille, à un moment donné, tenir compte! Où se procurer tant de renseignements si divers ? Ce n'est certainement pas dans la Bibliothèque d'une Université de province. Peut-être, pourrait-on espérer les rencontrer dans l'une ou l'autre des principales capitales de l'Europe, Rome, Paris ou Londres. Encore, est-ce douteux. J'ajouterai pour ma part à ces doléances de M. Loria, que ce serait en tout cas illusion pure d'espérer les trouver en Belgique.

Ce dont le professeur de Gênes se plaignait à propos de la Géométrie analytique plane est vrai de la Géométrie solide : même abondance de sources d'information à peu près inabordables. Mais, je n'insiste pas davantage sur cette première difficulté, pour en indiquer une autre plus facile d'ailleurs à surmonter et qui me ramènera au mémoire de M. Wieleitner.

Qu'est-ce à proprement parler que la Géométrie analytique ? Au cours des deux derniers siècles, sa définition a beaucoup

(1) *Verhandlungen des dritten internationalen Mathematiker-Kongresses in Heidelberg vom 8 bis 13 August 1904*, Leipzig, Teubner, 1905, pp. 562-574.

évolué. Jusqu'au milieu du XIXe siècle, et même parfois plus tard encore, toute application de l'Algèbre à la Géométrie passait pour être du ressort de la Géométrie analytique.

« On appelle *Géométrie analytique,* disait, par exemple, Lefébure de Fourcy, dans ses *Leçons de Géométrie analytique,* si longtemps populaires (9e éd., Paris, Gauthier-Villars, 1871, p. 109) on appelle *Géométrie analytique,* en d'autres termes, *application de l'Algèbre à la Géométrie,* cette branche importante des mathématiques qui apprend à faire usage de l'Algèbre dans les recherches géométriques ».

Cette définition s'entendait dans toute sa rigueur. Ainsi, au sens de Lefébure de Fourcy, celui-là eût fait incontestablement de la Géométrie analytique, qui aurait démontré, comme nous allons le démontrer, le théorème suivant que j'énonce à dessein sous une forme archaïque grecque.

« Si on donne le rayon du cercle inscrit dans un triangle et le rayon du cercle ex-inscrit dans un des angles de ce triangle, la hauteur abaissée du sommet du même angle sur le côté opposé est donnée ».

Soit, en effet, r, r' et h, respectivement les rayons donnés des deux cercles et h la hauteur considérée ; soit, en outre, a le côté opposé à cette hauteur et p le demi-périmètre du triangle. On déduit de la surface du triangle

$$pr = (p - a)r' = \frac{1}{2}ah\,;$$

de l'égalité des deux premiers rectangles on tire la 4e proportionnelle

$$p = \frac{ar'}{r' - r}\,.$$

On a donc l'egalité des deux rectangles

$$\frac{ar'}{r' - r}\,r = \frac{1}{2}ah,$$

ce qui exige que

$$h = \frac{2r'r}{r' - r}\,;$$

donc h est donné, comme il fallait le démontrer.

Ce raisonnement est précisément celui qu'eût tenu un géomètre grec en s'appuyant sur les 5e et 6e livres des *Éléments* d'Euclide et en s'aidant d'une figure qui ne lui eût servi qu'à suivre plus aisément les intermédiaires de la démonstration.

Est-ce l'omission de la figure, ou l'emploi d'une lettre minuscule unique au lieu de deux majuscules pour désigner les droites, qui font rentrer cette démonstration dans le domaine de la Géométrie analytique ?

Voilà, cependant, la seule différence importante des deux raisonnements. Aussi, poser la question, c'est la résoudre. Pour nous la Géométrie analytique est devenue autre chose. C'est l'étude des propriétés des figures *par leurs équations*.

Elle comprend trois groupes de recherches qu'il importe de distinguer en histoire, car leur développement est loin de s'être toujours effectué à la même allure.

1°) Étant donnée une figure, trouver l'équation, ou les équations, qui relient les coordonnées des points de cette figure. C'est ce dont s'occupe Descartes dans sa *Géométrie*.

2°) Réciproquement, étant données une ou plusieurs équations entre les coordonnées des points d'une figure, déterminer la figure représentée. Fermat, dans son *Introduction aux lieux plans et solides* (1), a certainement l'idée claire du fait qu'une équation entre deux variables représente une ligne, et que l'équation du premier degré, par exemple, représente toujours une ligne droite. Je dis Fermat, mais, j'hésiterais beaucoup à tirer la même conclusion de la *Géométrie* de Descartes. A ce deuxième groupe de recherches se rattache l'histoire, encore si mal débrouillée, des transformations des coordonnées.

Le troisième groupe, enfin, consiste dans l'étude des propriétés géométriques des figures à l'aide de leurs équations. C'est celui des trois groupes dont l'histoire me paraît la plus avancée, du moins en Géométrie plane, grâce surtout à l'ouvrage de M. Loria sur les Courbes planes rappelé ci-dessus, grâce aussi aux *Vorlesungen ueber Geschichte der Mathematik* de Cantor (2).

Si, pour mieux expliquer ma pensée, j'ai donné, dans ce qui précède, des exemples tirés de la Géométrie plane, j'ai cependant

(1) *Œuvres de Fermat* publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Charles Adam, t. I, Paris, Gauthier-Villars, 1891. Ad. locos planos et solidos Isagoge, p. 91.

« Quoties in ultima aequalitate, dit Fermat, duae quantitates ignotae reperiuntur, fit locus loco et terminus alterius ex illis describit lineam rectam aut curvam ».

La traduction de ce passage par Paul Tannery, se trouve au t. III du même ouvrage (Paris, 1896, p. 85).

(2) Notamment t. IV, Leipzig, Teubner, 1908, section XIV, pp. 451-576. On sait que cette section de l'ouvrage de Cantor est due à la plume de M. Kommerell.

surtout eu en vue la Géométrie de l'espace, dont l'histoire présente les mêmes difficultés. M. Wieleitner y apporte une simple contribution, qui nous apprend quelques faits nouveaux. Il arrête ses investigations à Euler et à Clairaut, après nous avoir exposé quelques tâtonnements plus ou moins heureux de La Hire, Jean Bernoulli et Parent. Enfin il termine, par une simple mention de Lagrange et de Monge.

La Bibliotheca Mathematica (1). — Pour faire apprécier le mérite du présent volume, il me suffira de transcrire ou de traduire, en y ajoutant parfois un mot d'éclaircissement, les titres des principaux articles.

Généralités. — Les travaux relatifs à l'histoire des mathématiques et l'enseignement de cette histoire dans les écoles, par M. Eneström.

Antiquité. — Pour l'histoire des quantités irrationnelles, par Vogt. — Sur un passage géométrique d'Aristote. C'est l'un des derniers articles écrits par notre savant ami Paul Mansion. — Observation sur le vocabulaire d'Archimède, par Kierboe. — Sur Archimède, par Arendt. — Une interpolation dans le texte reçu d'Appollonius, due à Eutocius, par Arendt.

Moyen-Age. — Le calcul des fractions chez Jordan de Némore, par Eneström. — L' « Algorithmus de minutiis » de maître Gernardus, par Eneström. — Le calcul des séries illimitées au moyen-âge chrétien, par Wieleitner. — Le concept des fonctions et leur représentation graphique chez Oresme, par le même. — Sur un traité d'algorithme allemand de l'année 1488, par Rath.

Temps modernes. — Sur une édition du « Liber de triplici motu » d'Alvare Thomas, par Valentin. — Girard Desargues et D. A. L. G., par Eneström. Il s'agit de savoir si Desargues est effectivement l'anonyme qui se cache sous ces initiales, comme le croit M. Brocard. — Sur une intégration antérieure au calcul intégral, par Cajori. Cette note concerne une formule donnée

(1) Bibliotheca Mathematica. *Zeitschrift für Geschichte der Mathematischen Wissenschaften,* herausgegeben von Gustaf Eneström. 3e série, t. XIV. Leipzig, Teubner, 1913-1914. Cette date est évidemment erronée, car les quatre livraisons ont paru respectivement les 17 février, 19 mai et 6 août 1914, et le 31 mars 1915.

en 1599, par Édouard Wright, dans ses « Certain errors in navigation ». — Deux remarques relatives à l'ouvrage de Stirling intitulé « Lineae tertii ordinis Newtonianae », par Wieleitner. — Jules Molk (1857-1914) et son influence comme champion de l'exactitude dans les travaux d'histoire des mathématiques, par Eneström. Notice nécrologique où l'auteur insiste sur le soin que Molk apportait aux références bibliographiques et historiques contenues dans les volumes de l'édition française de l'*Encyclopédie des Sciences Mathématiques* publiés sous sa direction. L'approbation du rédacteur de la Bibliotheca Mathematica est des plus précieuses et tous ceux qui ont eu l'occasion de contrôler les renseignements fournis par l'*Encyclopédie* savent à quel point un jugement si flatteur est mérité.

H. Bosmans, S. J.

CHRONIQUE AGRICOLE

—

La Sidération. C'est Georges Ville, professeur au Muséum de Paris, fondateur des champs d'expériences de Vincennes, sur l'emplacement du vieux chêne sous lequel Saint Louis, dit-on, rendait la justice, qui décora de ce nom le système de culture améliorante.

Seul, l'illustre chimiste Chevreul, son collègue, soutint avec lui, il y a soixante ans, la théorie de la fixation de l'azote de l'air par les légumineuses, que nous enseignâmes à Louvain, dès 1880, après avoir vérifié par l'expérience en Campine et ailleurs les beaux résultats obtenus par l'enfouissement des récoltes en vert dans les sables les plus stériles, en mélangeant la craie de Ciply phosphatée (phosphate insoluble) avec la tourbe (expérience de Postel 1867).

La sidération bien comprise permet de cultiver sans fumier. En voici un exemple topique, antérieur aux enseignements de G. Ville. A Braine-l'Alleud, le frère de notre ancien ministre Mercier, pratiquait l'assolement de huit ans bien connu dans l'arrondissement : jachère, seigle, trèfle, froment, avoine, féverole ou trèfle et enfin froment. Il marnait et nettoyait parfaitement ses terres. A la fin de juin, il semait des vesces qu'il retournait dans le sol à la floraison. Puis il mettait parfois de

l'escourgeon ou du seigle et enfin du trèfle, qui donna en première coupe un superbe rendement ; il retournait en terre la deuxième coupe et semait ensuite du froment. Il a cultivé ainsi pendant longtemps, sans employer un atome de fumier (communication de M. Maubille de Baulers à la *Société centrale d'agriculture*, en janvier 1884).

En Saxe et en Prusse depuis longtemps on mettait en valeur les sables stériles en semant du *lupin jaune,* à raison de deux hectolitres par hectare dans les champs de seigle obtenu par fumure ordinaire et on enfouissait cette légumineuse après la récolte de cette céréale ; puis on appliquait des engrais minéraux pour préparer la nouvelle récolte de seigle.

En Belgique, on a obtenu de 30 à 40 mille kilos de lupin à l'hectare dans les sables de Diest, à raison de 3 hectolitres de semences à l'hectare. Le sol bien labouré et pourvu de potasse a été nettoyé par cette légumineuse, du chiendent qui l'étouffe.

Les propriétés fertilisantes du lupin étaient bien connues des Romains. « Le lupin prévient les disettes et les famines, écrit Columelle. *Il ne demande rien à la terre* et *lui accorde plus que le meilleur fumier* » (Coll. II. 16. XI).

L'*Anthilis vulnéraire* qui croît spontanément dans nos dunes est une autre plante améliorante, qui fertilise les sables et prépare comme le lupin la culture du seigle.

Moyennant 500 kil. de kaïnite additionnée de plâtre, on peut obtenir la mise en valeur rapide des sables stériles dans nos Campines, avec ces deux plantes et d'autres légumineuses, comme diverses espèces de vesces et surtout le trèfle jaune de Sibérie qui résiste mieux que le lupin à la sécheresse.

La *vesce velue,* notamment, nous a donné dans les sables Bruxelliens des rendements superbes avec la kaïnite et un peu de phosphate. Il a fallu certaines années la rouler deux fois, à Corbais (Brabant), par exemple, avant de l'enfouir ; et depuis lors, le sol, régulièrement fertilisé, est pourvu d'humus et de matières azotées (1).

L'enfouissement des récoltes en vert se pratique communément dans les sables de Campine, notamment de la spergule et du sarrasin ou blé noir, ce qui prouve qu'il n'y a pas seulement que les légumineuses qui fixent l'azote dans le sol. Le sarrasin donne une paille riche en potasse, et parfois même en acide phosphorique (2), étouffe les mauvaises herbes et donne un

(1) Voir REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, juillet 1901, t. 20, 2e série.
(2) Lechartier, Académie des sciences de Paris, 1881.

excellent engrais azoté organique moyennant une minime dépense d'engrais minéral.

Il est probable qu'il extrait du sable la potasse insoluble qu'il contient souvent sous forme de feldspath ou de mica.

Ces faits prouvent qu'il existe dans le sol des agents microbiens fertilisants indépendamment des bactéries que l'on observe sur les racines des légumineuses, de même qu'il existe des bactéries génératrices d'humus et de nitrate ; c'est une erreur de croire, comme l'enseigne Darwin, que les vers de terre contribuent pour une large part à la formation de l'humus. Le charbon qui résulte de la décomposition lente des végétaux est l'œuvre séculaire des bactéries, comme l'humus de nos bois et la tourbe de nos marais. Nous croyons avoir fourni la preuve de l'assimilation de la potasse insoluble par certaines plantes cultivées, comme la pomme de terre (1).

Au *Congrès international de chimie appliquée* qui s'est tenu à Rome en 1906, nous avons appelé l'attention de la section d'agriculture sur le rôle du manganèse et de la magnésie dans l'élaboration de la sève et l'évolution des bactéries dans le sol (2).

M. Stocklosa, directeur de la station agronomique de Prague, qui assistait à la séance, a confirmé nos dires en rappelant les mémorables expériences sur les actions de présence de différents métaux dans le sol arable, notamment des *sels de plomb* dans la culture de l'orge, dont ils élèvent sensiblement le rendement.

Depuis lors ces observations se sont multipliées et ont mis en lumière notamment le rôle prépondérant de la chaux dans la genèse des azotobactéries qui fixent l'azote de l'air et celui de métaux radioactifs tels que l'*Uranium* qui enrichit en sucre la betterave (3).

Le Bulletin de l'Académie d'agriculture de France du 5 mai 1920, contient un remarquable rapport de M. Théry. Cet agronome constate qu'aujourd'hui la France possède d'énormes gisements de phosphates en Algérie, en Tunisie et surtout au Maroc et que

(1) *Cultures dans le sable au jardin botanique de Louvain*, par Giele, agronome de l'État, 1884-1894. — Duffel, imprimerie St Antoine, 1898, p. 22. (2me édition).

(2) Voir notre article *La fertilisation des rochers, des garigues et des marais en Italie et en Provence*, REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, 3e série, t. XX, juillet 1911.

(3) *Précis de chimie agricole*, par Edmond Gaen, G. Baillère, édit. 1908.

l'Alsace reconquise dispose de gisements de potasse d'une grande richesse (pp. 442-46).

Comme le dit M. Méline, l'augmentation incessante de la production agricole peut seule sauver la France en conjurant la crise du change.

Or, cette production ne peut être relevée que par l'emploi intensif des engrais chimiques qui nous font encore défaut, tandis que l'Allemagne dispose de quantités considérables, ce que démontrent les statistiques comparées de l'Institut international d'agriculture de Rome. La Belgique avait dépassé la France avant la guerre dans l'usage intensif des engrais. Mais, à l'heure actuelle, nous croyons que c'est à nos alliés du Midi de nous venir en aide en nous vendant des phosphates et des potasses dont ils disposent en si grande quantité.

M. Méline conclut que le rapport de M. Théry soulève une des questions les plus poignantes de l'heure présente, *celle du change* dans ses rapports avec la production agricole. Nous avons soulevé dès 1880 ce problème économique dans la première édition de notre MANUEL DE CHIMIE AGRICOLE publié à Paris, chez Palmé édit., en montrant les rapides progrès de l'agriculture allemande par l'emploi intensif et rationnel des engrais chimiques et en insistant sur cette vérité, trop méconnue par nos anciens législateurs, que l'agriculture est la source même de la vie des nations, parce qu'elle seule crée et régénère ce que les autres industries utilisent et transforment.

La question des vitamines, ces impondérables dont la simple action de présence joue, dit-on, un si grand rôle dans l'alimentation et qu'on a assimilés tour à tour à la tyrosine ou à la famille des lipoïdes, continue à faire l'objet des recherches et des discussions des savants ; cette découverte bouleverse, de fond en comble, les notions classiques de l'hygiène alimentaire basées sur le calcul des calories et la richesse en albuminoïdes.

Pourquoi certaines maladies, comme le scorbut, sont-elles vaincues par les légumes et particulièrement par l'alimentation de féculents, comme la pomme de terre? On répond aujourd'hui : parce que ce précieux tubercule contient des *vitamines* et des sels minéraux comme la potasse, dont le rôle oxydant est bien connu.

Pourquoi les médecins conseillent-ils aujourd'hui l'alimentation au pain bis et condamnent-ils le pain blanc ? Réponse : c'est qu'en traitant le froment par les cylindres qui éliminent

les enveloppes et le germe, on enlève à la farine sa puissance alimentaire, ses *vitamines* qui sont localisées précisément dans ces enveloppes et ce germe, considérés jusqu'ici comme nuisibles et indigestes.

Déjà Magendie avait constaté, il y a un siècle, que les chiens nourris au pain blanc dépérissaient tandis que le pain bis les rétablissait rapidement.

Autre observation du même genre pour le riz décortiqué dont on nourrissait les volailles. Les oiseaux languissaient. Il a suffi de restituer le son éliminé pour les rendre à la santé.

Aimé Girard, bien connu par ses belles recherches expérimentales sur le blé et les pommes de terre, affirmait que les enveloppes du froment et le germe contiennent des ferments nuisibles qu'il fallait éliminer pour obtenir un pain digestif et non altérable. En conséquence, il préconisait la mouture aux cylindres et condamnait la *meule* à laquelle on veut revenir aujourd'hui.

Qui écouter ? Il est certain que le pain bis ne convient qu'aux estomacs robustes et aux intestins qui ont besoin d'excitation mécanique par la cellulose contenue dans les enveloppes du froment (1).

Depuis que la consommation du pain complet est devenue obligatoire, beaucoup de personnes se plaignent d'indigestions. Cela n'est pas niable ! Mieux vaut encore se nourrir de pommes de terre riches en fécule, d'œuf et de lait contenant aussi des vitamines, comme les légumes verts. Mais gare aux parasites qui logent dans les légumes crus, plus riches en vitamines que les légumes cuits. Chose curieuse, alors que les graisses sont généralement pauvres en vitamines, l'huile de foie de morue en contient, paraît-il, de fortes quantités, d'où son pouvoir curatif dans les maladies consomptives, n'en déplaise aux savants qui l'ont nié récemment.

A. Proost.

(1) La réponse de la *Chambre Syndicale de la boulangerie de Paris et de la Seine* a confirmé, par l'organe de son président M. Virat, les conclusions d'Aimé Girard en constatant qu'il ne reste plus rien des vastes entreprises de pain complet d'avant la guerre de M. Schweitzer et Cie. Depuis, M. Lindet, professeur à l'Institut agronomique de Paris, a confirmé l'opinion de M. Girard.

S. S. BENOIT XV

et la Société scientifique de Bruxelles

Au moment où, après la tourmente de la guerre, qui avait suspendu son activité, la *Société scientifique de Bruxelles* reprit ses travaux, elle voulut rendre au Souverain Pontife un hommage de respect et de fidélité. En réponse à l'adresse que S. É. le Cardinal Gaspari voulut bien transmettre à Sa Sainteté, en même temps que les derniers volumes parus des ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES et de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, elle reçut du Souverain Pontife une lettre dont les membres de la Société seront heureux de trouver ici la traduction :

A nos chers Fils,

membres de la Société scientifique de Bruxelles,

BENOIT XV, PAPE,

SALUT ET BÉNÉDICTION APOSTOLIQUE.

Votre illustre Société fut de la part de nos prédécesseurs l'objet d'un amour paternel : nous ressentons aussi pour elle une bienveillance toute particulière, nous qui voyons croître chaque jour son importance et son utilité. Aujourd'hui, en effet, plus que jamais, c'est

le devoir des meilleurs de mettre tout en œuvre pour sauver les principes chrétiens d'un tel déluge d'erreurs et pour éclairer des lumières de la religion tous les genres d'études. Votre zèle à poursuivre ce but nous est prouvé par le livre (le tome XXVI de la Revue des Questions scientifiques et le tome XXVIII des Annales) dont vous avez voulu nous faire un précieux présent, et votre lettre collective si respectueuse nous a montré la déférence avec laquelle vous accueillez et vous exécutez tout ce que le Saint-Siège ordonne pour le progrès de la vie catholique. Aussi louons-nous de grand cœur votre activité, et puisque, après la guerre, vous avez repris votre ardeur première, poursuivez avec confiance votre entreprise, afin qu'en tenant compte des progrès de la science, vous puissiez montrer qu'aucune découverte moderne véritable n'est en conflit avec l'enseignement de l'Église. En effet, les vérités doivent être entre elles dans l'accord le plus parfait, puisque toutes procèdent du Maître unique de la Science. Ainsi vous parviendrez à mériter de l'Église autant que de la société civile, car l'éclat d'une érudition solide peut apporter à la Sainte Foi des avantages très appréciables. De notre côté, nous aurons à cœur d'implorer pour vous le secours d'en-haut. Trouvez-en le gage dans la bénédiction apostolique que nous vous accordons très volontiers, à vous, très chers fils, et à tous ceux qui participent en quelque façon à vos labeurs.

Donné à Rome, près de Saint-Pierre, le 26 juin de l'an 1920, de notre pontificat le sixième.

BENOIT XV, PAPE.

L'ÉLECTRICITÉ

Substance ou Accident ?

(Suite) (1)

Faraday n'était pas mathématicien : Maxwell a traduit analytiquement ses idées et ses images. Il a remplacé la notion un peu vague du nombre de lignes et de tubes de force par celle plus précise du flux d'induction à travers une surface, l'induction étant une grandeur dirigée proportionnelle au champ, affectée d'un coefficient variable selon la nature du champ. La charge présente à l'intérieur d'une surface fermée n'a d'autre définition, dans Maxwell, que celle, toute mathématique, d'une grandeur proportionnelle au flux d'induction qui sort de cette surface. Les diélectriques jouent un rôle prépondérant dans ses théories. Il établit des relations qui lui font retrouver les lois de l'induction et de l'électro-dynamique ; puis il pose ses six équations célèbres du champ électrique et du champ magnétique (2). Hertz s'attachera davantage à ces équations qu'aux calculs sur lesquels elles s'appuient et à leur commentaire, qu'il qualifie

(1) Revue des Questions scientifiques, IIIe série, t. XXVIII, juillet 1920, p. 65.

(2) Les équations du champ électrique donnent les composantes du courant, rapportées à l'unité de surface, en fonction des composantes X, Y et Z de la force magnétique ; les équations du champ magnétique expriment les produits μx, μy et μz (μ étant le coefficient de perméabilité) en fonction des composantes de la force électro-motrice d'induction. Il n'y a que ces dernières qui ne soient pas expérimentalement définies.

d'obscur (1) : « Ce qu'il y a d'essentiel dans les théories de Maxwell, dira-t-il, ce sont les équations de Maxwell. » Il prendra pour tâche de construire une théorie conduisant à ces équations finales posées d'avance et accommodées à ses vues. Poincaré a rendu hommage à cette œuvre remarquable, « parfaitement cohérente, » écrit-il, et en accord avec le principe de la conserva- » tion de l'électricité et du magnétisme, et avec celui » de l'égalité de l'action et de la réaction ». Il est à remarquer que Maxwell et Hertz ont expliqué l'ensemble des phénomènes, sans faire appel à aucune hypothèse particulière sur une manière d'être déterminée de l'électricité plutôt que sur une autre.

Nous allons essayer de faire apparaître, dans leurs grandes lignes, les théories des trois maîtres.

On a l'habitude de commencer cette étude par celle de l'électrostatique ; nous nous conformerons à cette tradition, qui s'appuie sur l'exemple des meilleurs traités ; il est rationnel en tous cas de considérer les choses au repos, avant de se demander ce qu'il advient d'elles, lorsqu'elles sont mises en mouvement.

Les difficultés d'exposition que nous rencontrerons sont déjà tellement grandes, qu'il faut nous garder de les aggraver.

Poincaré a raconté qu'un des savants français « qui a le plus approfondi l'œuvre de Maxwell » (il ne l'a pas désigné autrement), lui disait, en un jour de confidence : « je comprends tout dans son livre, excepté ce

(1) Hertz était né à Hambourg, en 1857. Une de ses premières études, intitulée *Relations entre les équations fondamentales de l'Électro-dynamique de Maxwell et celles de l'Électro-dynamique ordinaire*, parut en 1884, dans le Tome XXIII des WIEDEMANN'S ANNALEN : un second mémoire sur ces équations fondamentales fut publié dans les mêmes Annales, en 1890. Mais les deux principaux mémoires du savant allemand sont ceux de 1892 : *Sur les équations fondamentales de l'electro-dynamique des corps en repos*, puis *des corps en mouvement* ; Poincaré les a longuement analysés et grandement loués. Hertz est mort en 1893 ; il n'avait que 36 ans.

qu'est une boule électrisée ». Ce savant regrettait évidemment, sans oser se l'avouer, la vieille, bonne et commode image dualistique des fluides + et — ; elle laissait si bien croire que l'on voyait ce qui se passe sur la boule et autour d'elle. On le voit moins aisément dans l'hypothèse de l'électricité-accident, avec laquelle l'esprit ne s'apprivoise que lentement, tout en y mettant la meilleure volonté du monde. Nous avons tellement pris l'habitude de dire « l'électricité », comme nous disons le fer, le soufre, l'oxygène, qu'il nous est difficile de n'y plus voir qu'un être de raison ; il nous en coûte de lui refuser une existence propre et indépendante, et nous oublions que nous ne connaissons la chose qu'au titre de propriété passagère.

Faraday nous demande le sacrifice des idées que nous pouvions avoir sur l'électricité.

Avant lui, on revêtait les conducteurs d'une couche continue de fluides, auxquels on attribuait une densité ou une épaisseur variable et l'on en faisait émaner des forces ; illusion et convention ! Les forces seules ont une existence ; ce sont donc ces forces qu'il faut prendre pour point de départ de nos raisonnements. Faraday renverse par conséquent les termes de la proposition admise jusque-là : au lieu de considérer les forces comme des effets de l'électricité, il en fait ses causes et il les suit dans les lignes de force du champ. On a dit qu'il transporta ainsi le centre de gravité des phénomènes dans les champs d'action des forces, ce qui est exact et bien dit.

Toute l'attentien du physicien se concentrait dès lors sur ces champs. Ils sont constitués par le milieu qui les remplit, éther et diélectrique ; ce milieu ne joue plus un rôle secondaire, on lui donne le rôle principal :

ce rôle n'est plus passif, il est actif. Telle est l'œuvre de Faraday (1).

On est accoutumé de dire que, dans l'hypothèse de la matérialité et sous l'empire de la théorie dualistique, on n'avait pas tenu compte du milieu : il ne faudrait pas admettre les yeux fermés cette opinion. Poisson d'abord, dès 1827, et d'autres, moins connus, avaient fait état, dans leurs théories, de l'augmentation de capacité due à l'interposition d'un diélectrique entre ses armatures, et Cavendish (2) s'était livré bien avant avec succès à des mesures des pouvoirs inducteurs. Il était de notion courante que les actions électriques exercées entre des quantités variaient avec la nature du diélectrique interposé, et la formule de Coulomb permettait de calculer ces forces en donnant au paramètre k de la formule $f = k \frac{QQ'}{r^2}$ une valeur égale à l'inverse de celle du pouvoir inducteur K (3). L'influence de la nature des milieux n'était donc ni inconnue, ni méconnue : on peut seulement dire qu'on ne lui accordait pas toute l'importance qu'elle méritait et qu'on s'en faisait une idée incomplète.

C'est une autre exagération de prétendre que la théorie substantielle impliquait absolument la notion d'une action instantanée à distance et que, de ce seul chef, elle était irrémédiablement condamnée à dis-

(1) Le premier travail de Faraday sur la question me paraît être le mémoire qu'il lut en 1838, à la Société Royale de Londres, sous le titre de *Nature of the electric force or forces ;* ses autres études ont paru dans ses *Experimental Researches*, dont la publication commença en 1839 et ne se termina qu'après sa mort, survenue en 1867.

(2) C'est Maxwell qui a édité, en 1879, ces travaux de Cavendish, qui remontaient à l'année 1771 ; Faraday les avait continués, en se servant de son condensateur sphérique.

(3) Deux charges d'un micro-coulomb mises en présence à la distance d'un centimètre, s'attirent ou se repoussent avec une force de 9171 grammes dans l'air, de 4168 grammes dans le pétrole et de 2058 grammes dans l'huile de ricin ; les différences sont moins marquées évidemment, mais encore sensibles, dans des gaz de diverse nature.

paraître. Pas plus que ne l'avait fait Newton pour les forces centrales, causes de l'attraction universelle, les électriciens du début du XIXe siècle ne considéraient les forces électriques comme des phénomènes primordiaux et élémentaires. Coulomb faisait à cet égard, dans son célèbre Mémoire de l'Académie des Sciences, de 1788, une déclaration décisive : « Je pré-
» viens, disait-il, pour mettre la théorie à l'abri de
» toute dispute systématique, que je n'ai pas d'autre
» intention que de présenter avec le moins d'éléments
» possible les résultats du calcul et de l'expérience,
» et non d'indiquer les véritables causes de l'électri-
» cité. » Et Ampère, dans son *Introduction au mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électro-dynamiques*, n'était pas moins catégorique, car il déclarait n'avoir fait aucune recherche sur la cause même qu'on pouvait assigner aux forces dont il avait constaté les effets, et il ajoutait qu'il évitait de parler des idées qu'il pouvait avoir sur la nature de cette cause. Ces maîtres éminents admettaient donc que ce pouvaient être des phénomènes composés exigeant eux-mêmes une explication. Cette explication, ils ne la cherchaient pas ; c'était de leur part un parti pris : ils en laissaient le souci à ceux qui les suivraient dans les chemins de la science. En admettant que ces actions s'exerçaient sans intermédiaire dans l'espace et sans intervalle dans le temps, ils s'en tenaient aux premières apparences et à la surface des choses ; mais leurs théories n'étaient pas plus compromises par ces réticences que ne l'est la mécanique céleste, qui parle aussi d'effets à distance, *comme si* ils se produisaient réellement, et qui ne tient pas compte de la vitesse de propagation de ces actions.

Faraday est ici un novateur. Il estime que, par le fait qu'il cesse de croire au *substratum*, doué d'attraction, pour adhérer à l'hypothèse de l'électrisation acci-

dentelle, il est obligé de s'occuper du mode et de la durée de la transmission des actions et qu'il lui est interdit de s'en tenir uniquement aux apparences. Des phénomènes qui consistent en des modalités, produites à un moment donné, naissent avec elles et se transmettent par quelque chose : on doit suivre leur progression dans le temps et dans l'espace. Ils ne peuvent être sans être quelque part. Faraday dit qu'ils sont dans le milieu entourant les corps électrisés, dans ce qu'il appelle le fluide inducteur, et il les y localise.

Il faut prêter à ce milieu les qualités nécessaires. Cherchons dans ses *Experimental Researches* l'idée qu'il s'en fait. Après avoir déclaré que les effets constatés dans les champs ne peuvent être « simplement des attractions et des répulsions à distance », il émet l'avis que « une telle action pourrait être une fonction de l'éther ». De quelle manière ? Obligé de préciser, il imagine une théorie des diélectriques, reprise d'une comparaison faite par Coulomb, dans son Mémoire de l'Académie des Sciences, de 1789, entre les phénomènes d'influence dans le fer doux et dans les isolants. « A présent, écrit-il, je crois que l'induction ordinaire » (lisez l'influence) est une action de particules conti- » guës, consistant en une sorte de polarité, au lieu » d'être une action de particules ou de masses à des » distances sensibles : et, si cela est exact, l'établisse- » ment d'une telle vérité doit être de la plus grande » importance pour les progrès ultérieurs des recherches » sur la nature des forces électriques ». Il comparait donc les éléments diélectriques à une série de petits conducteurs isolés, noyés dans un milieu isolant, leur servant de support et de ciment ou du moins de liaison. Ces particules possédaient à leurs extrémités, non plus des quantités de signe contraire, mais des qualités opposées. La description, calquée sur les conceptions magnétiques, reste au demeurant assez imprécise, mais

l'idée n'est que subsidiaire : la nouveauté des vues réside dans l'intervention du diélectrique.

Les forces électriques se transmettent de proche en proche par ce milieu ; les éléments qui sont intéressés les premiers, ce sont les plus proches ; l'action n'atteint que progressivement les points éloignés. Une modification dans l'état électrique survenant en un point et à un instant déterminés, tous les points du champ n'obéissent pas instantanément à cette variation ; ils en sont affectés avec un retard d'autant plus marqué que la distance est plus grande. L'effet conséquent se transmet dans le champ avec une vitesse, qui dépend de la nature et des conditions du milieu formant le champ. Avec une sûreté d'intuition qu'on ne saurait assez admirer, Faraday avait compris que cette question était capitale et il avait formé le projet de mesurer cette vitesse ; il ne put le mettre à exécution ; mais il avait fondé une école, qui allait poursuivre l'œuvre commencée.

En 1845, une société scientifique italienne mit au concours la question suivante : « Donner une théorie » physico-mathématique de la distribution de l'électri- » cité sur les conducteurs de diverse forme, en partant » des idées de Faraday sur l'induction électrostatique » ; ce fut l'occasion d'une importante étude de Mossotti. Vers le même temps, W. Thomson (plus tard lord Kelvin), puis Clausius et Helmholtz développèrent l'idée faradique et introduisirent le concept de l'intensité de polarisation, grandeur dirigée, relative à chaque point du diélectrique, analogue à l'intensité d'aimantation (1).

Mais c'est surtout Maxwell qui a achevé l'image

(1) L'intensité d'aimantation se définit ainsi : portons sur l'axe magnétique de l'aimant une longueur égale au quotient de son moment par son volume, et nous obtenons l'intensité en un point de cet élément de volume ; cette définition s'applique à l'intensité de polarisation.

ébauchée par Faraday ; il en a précisé les détails et lui a donné une forme mathématique, avec l'originalité, l'indépendance, voire même quelquefois le manque de suite que nous avons déjà reconnus dans sa méthode (1), mais en y prodiguant ses géniales intuitions. L'ensemble est touffu, surtout si on le dépouille des formules : il est néanmoins possible d'en présenter une vue générale.

Le principe est posé. Les actions électriques se transmettent par l'intermédiaire des éléments du milieu diélectrique, composé d'éther et de matière pondérable : on appliquera à ce milieu les lois de la mécanique rationnelle. Il y a lieu de croire qu'il n'existe qu'une différence quantitative entre l'éther et la matière qui est imprégnée de lui. Que se passe-t-il dans l'éther ? Nous ne saurions le dire, car nous ne savons pas grand'-chose de lui : nous augurons de quelques-unes de ses propriétés par des effets constatés, que nous leur attribuons : rien de plus. Les éléments du diélectrique communiquent les actions en les subissant eux-mêmes. La matière pondérable est seule à dénoncer par des caractères sensibles les modifications dont elle est le sujet : ceux-ci consistent dans une altération des formes et des états correspondants : les plus caractéristiques sont une variation de volume et des changements dans les propriétés optiques, dont quelques-uns étaient anciennement connus. Ainsi le volume d'une bouteille de Leyde augmente, quand on la charge ; c'est le diélectrique verre qui se modifie moléculairement ; un tube de verre, sur la paroi interne et externe duquel on a collé une bande d'étain, s'allonge lorsqu'on l'électrise. Kerr a découvert deux ordres de phénomènes, qui portent son nom : un isolant solide ou liquide soumis

(1) Duhem a cru démêler dans l'œuvre de Maxwell trois électrostatiques distinctes, inconciliables sur quelques points.

à l'électrisation, devient biréfringent donc anisotrope, lentement, s'il est solide, presqu'instantanément, s'il est liquide ; d'autre part, si l'on fait réfléchir un rayon de lumière polarisée sur le pôle d'un électro-aimant, on observe que le plan de polarisation tourne en sens inverse de la direction du courant magnétisant. On désigne sous le nom d'*électrostriction* et de *magnétostriction* ces changements de dimensions et d'état qu'éprouvent les corps diélectriques et magnétiques sous l'influence d'un champ électrique ou magnétique ; ils ne se produisent pas soudainement et ne se dissipent pas immédiatement ; des manifestations thermiques les accompagnent fréquemment.

Maxwell accommode à ses vues l'hypothèse de la polarisation en imaginant un *déplacement* général de l'électrisation dans une direction déterminée, ayant pour effet de fournir des pôles aux molécules individuelles, en ne donnant de signes d'électricité que sur les surfaces terminales du diélectrique (1). Voici comment peut s'entendre le déplacement dont il est question. On considère un cylindre diélectrique comme formé par la superposition de deux cylindres uniformément électrisés, l'un d'une électrisation positive, l'autre d'une électrisation négative, équivalentes : sous l'action du champ, ces cylindres glissent l'un sur l'autre, parallèlement à la direction du champ.

Il semble que les idées de Maxwell se soient modifiées assez vite sur cette question, par le désir de se

(1) Maxwell dit qu'il y a *déplacement électrique*, lorsqu'une molécule du diélectrique (fluide éthéré et matériel) est dérangée de sa position normale d'équilibre ; ce nouvel état d'équilibre est figuré par un vecteur, dont on représente les composantes par f, g et h. Si le champ varie, le déplacement varie en même temps, et il résulte de cette variation du déplacement le phénomène que le maître anglais appelle un *courant de déplacement*, qui joue un si grand rôle dans ses théories. Les composantes de ce courant, $\frac{df}{dt}$, $\frac{dg}{dt}$ et $\frac{dh}{dt}$ sont les dérivées par rapport au temps des composantes du déplacement.

libérer plus entièrement de ce qui restait du concept matériel des deux électricités. Conformément à la méthode anglo-saxonne, il a conçu alors un modèle compliqué de champ, duquel Henri Poincaré a dit « qu'on aurait cru lire la description d'une usine, avec » des engrenages, des bielles, transmettant le mouve- » ment et fléchissant sous l'effort des régulateurs à » boules et des courroies » : mais il abandonna bientôt aussi cette « théorie saugrenue » (c'est Poincaré qui parle) (1), qui ne figure plus dans l'édition de ses œuvres complètes (2).

L'image à laquelle il s'arrêtera définitivement est sans doute plus voisine de la réalité, car elle offre même un certain caractère de vraisemblance.

« Il existe, dit-il, dans chaque partie du diélectrique » une tension mécanique, analogue à celle d'une corde, » dans la direction des lignes de force, et d'une pres- » sion dans les directions normales ». L'idée avait déjà été énoncée par Faraday. Au lieu d'une corde, considérons plutôt un faisceau de fibres élastiques, en caoutchouc, par exemple, et supposons-les soumises à une tension axiale, longitudinale, coïncidant avec la direction des forces du champ : cette tension se traduit par un accroissement de longueur et celui-ci entraîne une variation de section, donc une variation de pression transversale. Ces fibres représentent les lignes de force du champ. L'élève de Faraday en a ainsi fort pratiquement matérialisé les éléments : il nous les fait voir

(1) H. Poincaré, *La théorie de Maxwell* ; Collection SCIENTIA ; (Paris, Gauthier-Villars) ; p. 8.

(2) En un autre point de son *Traité d'Électricité et de Magnétisme* (t. I, p. 518), Maxwell donne un autre « exemple mécanique pour faire comprendre les propriétés des diélectriques », pour lequel il fait emploi de deux tubes en U reliés par leurs extrémités supérieures, remplis de mercure et d'eau ; un piston glisse dans la connexion horizontale des branches extérieures : son mouvement figure les charges et les décharges et la pression qu'il développe correspond à la force électromotrice.

des yeux et toucher des doigts ; ce ne sont plus, comme auparavant, de simples et purs objets géométriques, ils prennent une réalité physique.

On peut poursuivre l'image jusque dans ses détails les plus précis. Les tubes de tension traversent librement le diélectrique et s'y déplacent en tous sens sans y rencontrer de résistance : dans la pensée de Maxwell, le diélectrique isolant nous apparaît dès lors comme conduisant les tensions électrostatiques, alors que les conducteurs métalliques ne les conduisent pas ; on prend ainsi le contrepied de l'ancienne manière de voir où les phénomènes se développaient dans les conducteurs. Les tubes se terminent nécessairement tous à la surface d'un conducteur ; ils ne peuvent s'en détacher et pourtant ils s'y déplacent avec une mobilité parfaite. Un tube ne peut être en repos que si la tangente en son extrémité est normale à la surface du conducteur, et si toutes les pressions transversales, qu'il subit de la part des tubes voisins, se font mutuellement équilibre.

Maxwell a aussi fait usage de l'hypothèse d'une infinité de petits ressorts tendus, par lesquels il figurait commodément l'élasticité du milieu : ces ressorts reviennent à leur forme première, dès que s'annule la force extérieure qui les en a écartés.

Quelle que soit la représentation à laquelle son esprit fécond donne momentanément la préférence, Maxwell suppose toujours que la force électrique, agissant au sein du diélectrique, le place dans un certain état de *contrainte* (1), duquel il tend spontanément à se délivrer, en développant une certaine énergie, qui résulte de ce que le milieu élastique a été dérangé de sa position normale. Le travail consommé pour déterminer cet état contraint est emmagasiné à l'état potentiel dans

(1) Le mot anglais de *strain* exprime à la fois un état de tension et un état de gêne imposé par une force ; cela correspond bien à l'idée de contrainte.

la masse du milieu, sous forme d'énergie élastique, en quantité déterminée par unité de volume : que la contrainte cesse et l'on récupère l'énergie qui a tendu les fibres et bandé les ressorts. La disparition de l'état électrique est toujours ainsi accompagnée de l'apparition d'une quantité équivalente d'énergie calorifique, lumineuse, sonore ou autre.

Par voie de réciprocité, a fait observer Vaschy (1), on pouvait prévoir que des efforts mécaniques exercés sur le diélectrique développeraient en certains cas un champ électrique : ce cas s'est réalisé dans le phénomène de piézo-électricité, présenté par un prisme de tourmaline, terminé par deux bases taillées perpendiculairement à l'axe du cristal : ces bases deviennent positives et négatives, par l'effet d'une pression longitudinale.

En tout cela, l'énergie élastique résulte de ce que le milieu est dérangé de sa position d'équilibre normal : mais le phénomène présente, dans l'espèce, un caractère spécial, qui le différencie de ceux que nous sommes habitués à envisager. En effet, l'énergie potentielle emmagasinée dépend d'ordinaire des positions relatives des molécules et non pas de leur position absolue, de sorte qu'il ne se produit aucune réaction, lorsqu'un corps se déplace sans se déformer. Ici au contraire (nous voulons dire dans le milieu, faisant fonction de fluide inducteur), tout se passe comme si chacune des molécules de ce fluide était sollicitée proportionnellement à sa distance de la position d'équilibre. Il ressortirait de là que si l'on donnait à toutes les molécules un même mouvement de translation, sans changement dans leurs situations relatives, l'élasticité n'en devrait pas moins entrer en jeu (2).

(1) Vaschy, *loc. cit.*, t. I, p. 107.

(2) H. Poincaré. — *Électricité et Optique*, pp. 28 et 73. Poincaré ne dissimule pas que ce concept particulier de l'élasticité rompt avec nos habitudes d'esprit et les hypothèses dominantes ; il fait observer du reste que le maître anglais n'y est pas toujours resté fidèle.

Nous allons voir maintenant comment ces hypothèses se concilient avec les lois expérimentales de l'influence et de la distribution électrostatique. Mais avant de nous engager dans cette étude, il nous faut constater encore que la théorie du potentiel, basée sur la loi de Coulomb et sur les propriétés des forces centrales, sans faire état de la cause des actions, est conservée intégralement dans la nouvelle manière de voir. Toutefois elle s'éclaire d'un jour particulier. Le champ, créé autour d'un corps électrisé par le rayonnement des lignes de force qui en émanent comme d'un centre, ne procède pas du corps, mais de l'ambiant. En chacun des points de celui-ci, il y a un potentiel : ce potentiel est dans cet ambiant, éther et diélectrique. C'est l'expression du travail consommé dans la contrainte du diélectrique ; il correspond à une provision d'énergie potentielle, susceptible d'actualisation. La différence de potentiel, qui existe entre les extrémités d'un tube de force, réunissant la surface de deux conducteurs de signe contraire, prend la signification d'une force électromotrice ; elle produit un flux d'induction constant le long du tube. La capacité d'un conducteur unique ne dépend plus seulement de sa forme, mais encore de la nature du milieu ambiant. Nous ne multiplierons pas davantage ces remarques, laissant au lecteur le plaisir de suppléer par son savoir à ce que nous ne disons pas.

Prenons un champ créé par un conducteur électrisé et introduisons-y d'autres conducteurs neutres ; ils s'électrisent par influence : c'est la conséquence de l'état du milieu. Sous la double action de leur tension longitudinale et des pressions qui s'exercent latéralement entre eux, et par l'effet de leur mobilité, les tubes prennent une forme et une position déterminées et ils donnent au champ la nouvelle configuration que requiert l'équilibre. Les tubes cherchent leur point d'appui sur la surface des conducteurs en présence et

s'y implantent normalement ; l'état électrique de ceux-ci est + sur une base, — sur l'autre. Ce qu'on disait être la charge superficielle des conducteurs n'est plus qu'une fiction, que l'esprit place géométriquement aux bases extrêmes des tubes : plus la tension est grande dans les tubes, plus on voyait d'électricité sur les bases.

La quantité se définit par la grandeur de cette tension, laquelle s'exprime pratiquement par un nombre de tubes-unités ; un accroissement d'électrisation correspond à une augmentation de ce nombre. Si l'on convient de représenter chaque tube-unité par une ligne de force, la tension se mesure par un nombre de lignes.

C'est la tendance au raccourcissement des tubes qui détermine le rapprochement des bases découpées à la surface des conducteurs, et provoque l'attraction entre ces conducteurs. La constitution du champ permet de calculer rigoureusement la valeur de cette attraction entre des conducteurs de forme et de position déterminées, sans plus ni moins de difficultés que par l'ancienne théorie substantielle ; d'autre part, le diagramme du champ, interprété et compris à la façon nouvelle, fournit une image d'un saisissant réalisme. Entre ces surfaces de conducteurs, aux électrisations de signe contraire, on croit voir dans ces paquets de lignes, qui vont directement de l'un à l'autre, par le chemin le plus court toléré par les presssions latérales, des tentacules portés par l'un, allant chercher l'autre, s'y agrippant et le tirant à eux, avec d'autant plus de force qu'ils sont plus nombreux, plus drus et plus tendus. Amenons au contraire en présence deux conducteurs électrisés au même signe. Le diagramme fait voir maintenant une disposition divergente des tubes qui met en jeu leur répulsion latérale : cette action transversale donne le sentiment de la force, qui éloigne

les conducteurs l'un de l'autre, car on dirait que de longs bras s'arc-boutent les uns contre les autres, et l'on se rappelle comment, à certains jours de grande affluence, il a fallu jouer des coudes pour se donner de l'air.

Revenons aux conducteurs, de signe contraire, qui s'attirent à travers le diélectrique. Si l'on surmonte la force qui tend à les rapprocher, et qu'on les éloigne l'un de l'autre, on étire et on allonge les tubes ; il faut pour cela une dépense de travail qui fait croître la différence de potentiel entre les conducteurs, en prenant la forme d'énergie électrique ; vient-on pour lors à laisser les conducteurs libres d'obéir à la tension des tubes, l'énergie emmagasinée dans le milieu est restituée sous forme d'énergie mécanique et les potentiels reprennent leur valeur initiale.

Poursuivons le développement de ces idées et appliquons-les aux opérations qui font acquérir l'électrisation aux corps, soit au bâton d'ambre frotté par le pan de la robe de Thalès de Milet. L'état électrique développé est le prix de l'énergie dépensée par la main qui frotte ; qu'est-ce qui acquiert des propriétés nouvelles ? Est-ce immédiatement l'ambre et la laine ? Nullement, c'est l'éther d'abord dans lequel ils baignent tous deux. La cause prochaine du phénomène sensible n'est donc plus à chercher dans les corps tenus en main et mis en contact intime par friction, mais c'est dans le milieu qui les environne. Quand on dit qu'ambre et laine sont électrisés, on exprime que l'ambre et la laine nous manifestent ce qui s'est produit dans le milieu. Si l'on veut être entièrement logique et absolument correct de langage, il ne faut donc plus dire qu'on a frotté de l'ambre, car c'est l'éther qui a été agité, travailllé et modifié d'abord dans sa manière d'être. Le vieux Thalès ne s'en doutait pas — et il était excusable, car

nous avons attendu nous-mêmes le milieu du XIXe siècle pour le savoir ou pour croire le savoir.

Considérons maintenant ce qui se passe dans un condensateur au moment où l'on rattache ses armatures aux pôles d'une source constante d'électricité, telle qu'une pile : le diélectrique remplissant la coupure pratiquée dans le circuit est parcouru par un courant d'une durée extrêmement courte, parce que la tension développée dans l'isolant ne tarde pas à faire équilibre à celle de la source ; c'est le *courant de déplacement* auquel l'isolant oppose sa résistance élastique. De l'énergie est dépensée et emmagasinée dans le milieu interposé entre les armatures : elle sera restituée quand on déchargera le condensateur. Si le diélectrique était remplacé par une substance conductrice (ou bien si les armatures venaient en contact), l'appareil serait au contraire parcouru par un courant durable, gardant la même intensité aussi longtemps qu'agit sans variation la force électromotrice de la source : son énergie se dépense sur les résistances rencontrées par le courant : elle est transformée en chaleur, au fur et à mesure qu'elle se dépense, et correspond à une dégradation d'énergie opérée sans possibilité de récupération. Maxwell oppose de la sorte la résistance *visqueuse* des conducteurs à la résistance *élastique* du diélectrique, qui ne se traduit, dans ce cas, par aucun échauffement sensible (1).

Maxwell introduit nombre d'idées neuves en cinétique. L'espace entourant le fil conjonctif, jeté entre les pôles, conducteur d'un courant, possède, on le savait

(1) Cette théorie est résumée au chapitre premier du Traité, dans le paragraphe intitulé « Plan de cet ouvrage » (pages 66 et suivantes) et l'on s'y reportera avec intérêt et grand fruit : Maxwell y montre clairement comment, dans le courant de déplacement, « l'élasticité électrique ramène l'électricité en arrière, quand la force électromotrice est supprimée, tandis que, dans le fil conducteur, l'élasticité électrique est constamment vaincue, de telle sorte qu'il se produit un courant de conduction ».

déjà, les propriétés d'un champ magnétique dont les lignes de force affectent une autre allure par leur forme et leur disposition que les lignes électrostatiques, tout en présentant, comme elles, une tension suivant leur direction, en exerçant une pression normale à cette direction.

Ces lignes ne commencent plus en un point pour se terminer en un autre ; ce sont des lignes sans fin, des lignes fermées sur elles-mêmes, généralement des cercles concentriques à l'axe du conducteur, dont les plans lui sont perpendiculaires ; elles ne traversent pas le conducteur, elles l'encerclent ; elles l'enrobent. Un observateur, profilant un regard le long d'un conducteur, qui se prolonge, voit les lignes de force tourner dans le sens dans lequel il faudrait faire tourner un tire-bouchon pour le faire avancer avec le courant, suivant la règle pratique de Maxwell.

Les effets extérieurs de ce courant correspondent à ceux de la translation d'un corps électrisé le long du circuit. Or, considérons un corps électrisé, changeant de position dans l'espace, au sein d'un éther, d'un milieu stationnaire : celui-ci subira au passage du corps une impression, une contrainte. Cet état de « contrainte passagère » voyage avec le corps à travers le milieu ; on pourrait penser que le corps transporte son champ avec lui ; mais, en ne considérant que le milieu, on serait plutôt porté à dire qu'un champ est constamment créé et détruit. Cette perturbation s'étend au loin autour du circuit et dure tant que dure le mouvement. Nous supposons d'abord un mouvement uniforme, c'est-à-dire un courant constant. En ce cas, il y a production d'un champ magnétique superposé à un champ électrique, avec transport d'énergie le long du conducteur, dans la direction du mouvement.

Ce champ magnétique est donc la manifestation de la variation de polarisation du diélectrique, variation qui

semble suivre le mouvement du corps électrisé que nous venons de considérer, mais qui pourrait aussi bien en être l'origine dans le cas d'un courant, car la thèse accidentelle ne connaît que l'état électrique. Elle porte à croire, par conséquent, que le champ détermine le courant. La force électromotrice serait dès lors une force ayant son siège dans l'éther.

L'énergie électrique des phénomènes statiques était due au phénomène, appelé par Maxwell « déplacement », s'exerçant le long des lignes de force : l'énergie magnétique est prise sous la forme d'une force vive de rotation autour des lignes de force du champ magnétique, et on la fait correspondre à des tourbillons. L'énergie électrique était de forme potentielle : l'énergie magnétique affecterait la forme cinétique (1).

La direction des lignes de force magnétiques (celle du champ magnétique) est perpendiculaire à la direction primitive du champ électrostatique, c'est-à-dire à celle des lignes de force émanées du corps chargé, dont le mouvement constitue le courant.

Autre remarque : pour Maxwell, tout courant est fermé ; même pour un tronçon de fil métallique le courant n'est pas ouvert, car, si l'on établit une différence de potentiel entre ses extrémités coupées, le circuit se complétera par le diélectrique, à travers lequel se propagera un « déplacement ». Nous avons vu que les choses se passent ainsi dans les condensateurs.

Comment expliquait-on les actions électrodynamiques d'Ampère, celles qui s'exercent entre des éléments de courant ? Il conviendrait ici de faire connaître les

(1) A l'une correspond un vecteur axial, à l'autre, un vecteur polaire. Maxwell a paru admettre qu'entre les tourbillons existent des particules ténues, qui roulent sans glisser, en gardant contact avec les surfaces des tourbillons : ces particules seraient le support des propriétés électriques. Le modèle était calqué sur les roulements à billes.

calculs de Maxwell, mais nous ne pouvons entrer dans cette voie, et nous nous en tiendrons au modèle, ainsi que l'a fait Henri Poincaré, dans un lumineux travail de vulgarisation, auquel nous nous sommes déjà référé (1) : à la suite d'un tel guide, nous nous aventurons le cœur léger dans le chemin épineux frayé par le génie anglais. Soient deux courants parallèles, que nous supposerons d'abord de même sens : l'éther est en mouvement dans l'intervalle qui les sépare ; sa force vive est, à intensité égale des courants, d'autant plus grande que les conducteurs sont plus voisins, et, à distance égale des circuits parallèles, d'autant plus grande que l'intensité des courants sera plus considérable. Ce système de conducteurs peut être comparé à un appareil bien connu des mécaniciens, le régulateur à force centrifuge de Watt, dont la force vive est proportionnelle au carré de sa vitesse angulaire et au carré de l'écartement des boules. Vient-on à en écarter les boules, il faut dépenser du travail pour maintenir la vitesse angulaire : de même, pour le système de nos deux courants, faudra-t-il fournir de l'énergie, si l'on veut que leur intensité ne décroisse pas, au moment où l'on rapprocherait les conducteurs (2). Dans le régulateur, la force centrifuge tend à faire diverger les branches et à écarter les boules, la vitesse angulaire de rotation étant maintenue constante ; dans le système des courants, le maintien de la constance de leur intensité entraînera de même une augmentation de force vive, donc un rapprochement, et, par conséquent, une attraction réciproque. Et voilà pourquoi ils s'attirent ! Maxwell a trouvé que son modèle constituait une démonstration ; on pourrait discuter sur ce point : nous

(1) H. Poincaré, *La théorie nouvelle*, etc., p. 12.

(2) Parce qu'on aura à surmonter une force électromotrice d'induction qui tendrait à diminuer l'intensité des courants, ainsi que nous le verrons plus loin.

nous contenterons de faire observer que le modèle s'applique également bien aux courants parallèles et de sens contraire, qui se repoussent et tendent à s'éloigner l'un de l'autre, parce que la distance augmente la force vive, l'intensité demeurant constante ; la force vive de l'éther est, en effet, alors d'autant plus grande que les circuits sont plus distants.

En tout cela, le maître anglais ne poursuit qu'un but, dénoncé par Poincaré : démontrer qu'une explication mécanique des phénomènes de l'électricité et du magnétisme est possible, et que les propriétés d'un milieu unique répondent aux conditions posées par les problèmes les plus divers.

Voyons comment les phénomènes faradiques d'induction trouvent place dans ce cadre.

Au centre d'un champ électrostatique nous situons un corps électrisé : ce corps vient-il à se mouvoir, d'un mouvement uniforme, un champ magnétique se superpose à l'autre, ainsi que nous venons de le voir. Mais si le mouvement est varié, le tableau n'est plus le même et la scène change. Lorsque l'intensité d'un courant subit des fluctuations, en période d'établissement ou autrement, ou bien encore lorsqu'il se produit dans le courant un changement de sens ou de direction, il se manifeste un effet nouveau, découvert par Faraday. Il apparaît un phénomène d'induction voltaïque.

Prenons d'abord le cas d'une augmentation d'intensité du courant et cherchons à prévoir ce qu'il en résultera dans l'ambiant. Puisqu'un courant, circulant dans un fil, correspond au mouvement d'un corps électrisé le long de ce fil et provoque dans son champ un mouvement tourbillonnaire de l'éther, autour de ses lignes de force, prises comme axes de rotation, il est nécessaire que ces deux effets concomitants soient considérés comme intimement liés, et l'on peut dire qu'une augmentation d'intensité du courant correspond

à un accroissement de la force vive de l'éther. L'augmentation de la force vive de l'éther donne lieu à une réaction du milieu par résistance élastique : cette réaction diffère de la résistance visqueuse, qui résulterait d'un frottement ; elle est comparable à un effet d'inertie. Par suite de la liaison, que nous venons de relever, cette réaction a sa répercussion sur l'intensité du courant, qui ne s'établit donc pas instantanément : nous trouvons ainsi la cause de la *self-induction* découverte par Faraday. On ne l'attribue plus à l'inertie de l'électricité (une manière d'être n'a pas d'inertie), mais à l'inertie de l'éther et du milieu.

Le même mécanisme entre en action, mais en sens contraire, lorsque le courant diminue d'intensité, ou cesse de passer, auquel cas il tend à se prolonger, comme se prolonge le mouvement d'une masse animée de vitesse. En tout cela, l'inertie de quelque chose joue le principal rôle ; elle est une entrave ou une aide, suivant la loi de Lenz, en électricité et en magnétisme, comme en mécanique ; elle suffit à tout expliquer. Un courant constant ne donne lieu à aucune induction, puisque le mouvement de l'éther, une fois développé, se continue de lui-même. Qu'il y ait ou non un conducteur voisin à induire, il existe là une force électromotrice d'induction.

Dans un conducteur, cette force fait naître un courant.

Considérons maintenant le cas de deux fils conducteurs tendus dans le voisinage l'un de l'autre ; la naissance d'un courant dans l'un d'eux ou bien une augmentation de son intensité développe dans l'autre un courant induit secondaire, de sens inverse, par *mutuelle induction*.

Telle est, tracée à grands traits, la théorie générale de Maxwell : elle permet de rendre compte des phénomènes anciennement connus, en localisant leur origine dans le milieu, et en ne faisant jouer aux charges géo-

métriquement placées à la base des tubes de force qu'un rôle de fictions ; on arrive à l'exprimer en langue courante. Le langage mathématique se prête évidemment à un exposé plus précis et à une analyse plus pénétrante des actions électriques ; les relations que le professeur de Cambridge a établies entre les grandeurs fondamentales des champs sont devenues entre ses mains un instrument admirable. Elles l'ont conduit, c'est ce qu'il nous reste à faire voir, à deviner des faits que l'on ne soupçonnait pas avant lui.

(A suivre).

A. Witz,
Correspondant de l'Institut.

La notion et la mesure de la force

spécialement à propos de

la gravitation universelle

(Suite et fin) (1)

III. ÉQUATION GÉNÉRALE DE LA DYNAMIQUE. ET PRINCIPE DE LA GRAVITATION UNIVERSELLE

Pour constituer la science du mouvement, c'est-à-dire pour rendre les principes qui lui servent de base les plus simples et les plus féconds, on a été amené à faire un choix entre toutes les unités de mesure possibles *a priori*, et entre divers corps de repère auxquels on pourrait, aussi *a priori*, rapporter le mouvement.

En ce qui concerne les unités de mesure, y compris celle du temps, qui réalisent le mieux le desideratum qui vient d'être énoncé, ce sont celles qui ont été définies au chapitre précédent, du moins en général pour les besoins de la science, du commerce et de l'industrie. Quant à ce qui regarde l'astronomie, nous dirons bientôt quelles sont les unités de longueur et de masse qui sont adoptées de préférence, spécialement pour l'astronomie planétaire que nous avons particulièrement en vue.

Afin de faire connaître les axes de repère considérés comme les plus avantageux, c'est-à-dire comme fournissant les accélérations les plus simples, nous posons d'abord quelques définitions ayant pour objet de simplifier le langage.

Quand on se borne à l'étude des déplacements relatifs des corps du système solaire, il existe un accord suffisant, vu l'état actuel de la science, entre l'observation

(1) Cfr. Revue des Questions scientifiques, avril 1920, pp. 351-377.

et le calcul basé sur l'hypothèse de l'invariabilité des distances angulaires des étoiles. Plus généralement, quand on ne fait que viser les étoiles directement ou à l'aide d'instruments d'optique, on n'a pas à se préoccuper des variations plus ou moins sensibles de leurs distances angulaires.

Dans notre étude actuelle, les étoiles peuvent donc être considérées comme faisant partie d'un même solide : nous donnons à ce solide le nom de *solide stellaire*.

Trois axes invariablement liés au solide stellaire peuvent, à leur tour, être appelés les *axes stellaires*.

Par convention, ce sont les mouvements relatifs des centres des principaux corps appartenant à notre système solaire (Soleil et planètes) que nous étudions spécialement.

Pour un observateur à la surface de la Terre, les déplacements d'une planète sur la voûte céleste paraissent assez irréguliers.

Il en est tout autrement quand on rapporte les positions de la planète à des axes héliocentriques de direction stellaire, c'est-à-dire à trois axes ayant pour origine le centre du Soleil et restant constamment parallèles aux axes stellaires.

Dans ce cas, comme l'a trouvé Kepler en se basant sur les observations de son maître Tycho-Brahé, les mouvements des centres planétaires satisfont aux trois lois que voici :

1. Les aires balayées par les rayons vecteurs allant du Soleil à la planète considérée sont proportionnelles aux temps employés à balayer ces aires.

2. La trajectoire décrite par la planète est une ellipse dont le Soleil occupe un des foyers.

3. Les carrés des temps de révolution pour deux planètes quelconques sont proportionnels aux cubes des grands axes.

Si l'on se demande quels doivent être, les lois de Kepler étant admises, la direction, le sens et la grandeur de l'accélération d'une planète, on arrive aux résultats remarquables que voici :

En vertu de la première loi de Kepler, l'accélération de la planète passe par le centre du Soleil. En vertu de la deuxième, l'accélération est dirigée vers le Soleil et, pour une planète donnée, sa grandeur est en raison inverse du carré de sa distance au Soleil. Enfin, en vertu de la troisième loi, le coefficient de proportionnalité dont il est question dans la deuxième loi est le même pour toutes les planètes.

En d'autres termes, si l'on appelle j l'accélération d'une planète à un certain instant par rapport aux axes de direction stellaire passant par le centre du Soleil, il résulte des lois de Kepler que cette accélération est dirigée vers ce centre et qu'elle est donnée par la formule

$$j = \frac{fM}{r^2}. \tag{1}$$

Dans cette relation, fM est un nombre, le même pour toutes les planètes, et r est le rayon vecteur allant, à l'instant considéré, du centre du Soleil au centre de la planète.

Pour le mathématicien, s'il a en outre égard à la direction et au sens de l'accélération, la relation (1), à elle seule, en dit autant, mais uniquement au point de vue *accélération*, que les trois lois de Kepler ensemble.

C'est à dessein que nous avons dit que c'est au point de vue *accélération* que la relation (1) en dit autant que les trois lois de Kepler.

Ce serait, en effet, une erreur de croire que la relation (1) implique les lois de Kepler, tout aussi bien que celles-ci ont conduit à la relation (1).

Le calcul montre que si un point (le centre d'une planète, par exemple) est astreint à satisfaire à la rela-

tion (1) et si l'on sait en outre que l'accélération est dirigée vers un point fixe (le centre du Soleil, par exemple), la trajectoire du point peut être l'une des trois sections coniques, suivant la grandeur de la vitesse, à un instant donné, relativement à sa distance au point fixe (le centre du Soleil) au même instant.

Les mathématiciens savent que, dans la même hypothèse d'un point astreint à satisfaire à la relation (1), on ne peut calculer la position de ce point à une époque quelconque que si, outre la relation (1), on connaît la position et la vitesse du point à une époque déterminée [1].

Bien que déjà précises pour l'époque où elles ont été faites, les observations de Tycho-Brahé, sur lesquelles Kepler s'était fondé pour établir ses lois, n'étaient pas exactes. Il existe donc une différence entre le mouvement réel et le mouvement fondé sur les lois de Kepler : ce dernier est appelé le mouvement *képlérien* ou le mouvement *non troublé*, tandis que le mouvement réel est appelé le mouvement *troublé*.

Mais, fait remarquable déjà constaté par Newton lui-même, si la formule (1) ne fournit que le mouvement képlérien (ou non troublé), il suffit de la compléter pour avoir une formule qui fournisse très approximativement le mouvement réel (ou mouvement troublé).

Pour que cette formule (1) généralisée soit en outre

(1) Ce que nous venons de dire du cas de la relation (1) est vrai, d'une façon générale, dès que le mouvement du point est défini par son accélération, comme c'est le cas, non seulement de la relation (1), mais encore de la relation (2) qui suit. Dans ce dernier cas, la position de la planète ne peut même être déterminée à un instant donné que si, outre la relation (2) et les autres relations analogues relatives aux autres mobiles considérés en même temps que celui auquel correspond cette relation (2), on connaît les positions et les vitesses, à un instant donné, de tous les points. On le voit aisément quand on possède les notions générales relatives aux équations différentielles simultanées et qu'on remplace une relation géométrique telle que (1) ou (2) par les trois relations algébriques obtenues en projetant sur les axes coordonnés les deux membres de la relation (1) ou des diverses relations (2) qui doivent être examinées en même temps.

aussi simple que possible, on doit rapporter les mouvements, non plus aux axes héliocentriques définis à l'occasion des lois de Kepler, mais aux axes stellaires eux-mêmes. Quand il en est ainsi, la formule (1) généralisée est de la forme

$$j = f\left(\frac{M}{r^2} + \frac{m'}{\Delta^2} + \cdots\right). \tag{2}$$

Dans cette formule (2), j est — nous le répétons — l'accélération de la planète par rapport aux axes stellaires ; r est le rayon vecteur allant du Soleil à la planète étudiée ; fM est le fM qui intervenait dans la formule (1) ; Δ,.... sont, à l'instant considéré, les distances des diverses planètes à celle dont on étudie le mouvement ; m',.... sont des nombres propres à ces diverses planètes (autres que celle dont on étudie le mouvement), de même que M est un nombre propre au Soleil. Enfin, de même que $\frac{fM}{r^2}$ est un vecteur dirigé de la planète vers le Soleil, de même $\frac{fm'}{\Delta^2}$,.... sont des vecteurs dirigés de la planète étudiée vers les planètes qui en sont distantes des quantités respectives Δ.....

Le second membre de l'égalité (2) constitue donc la somme géométrique ou la résultante de plusieurs vecteurs. Nous avons dit antérieurement comment on forme une pareille somme.

La relation (2) s'applique à une première planète dont on étudie, par hypothèse, le mouvement. Les accélérations des autres planètes sont fournies par des relations analogues à (2) et il en est de même de l'accélération du Soleil [1].

(1) Au lieu de (2), il vaudrait mieux écrire :

$$j = f\left(\frac{M}{r^2} + \frac{m'}{\Delta^2} + \cdots\right) + j_0, \tag{2bis}$$

où le terme nouveau j_0, introduit dans le second membre, est supposé le même pour le Soleil et les diverses planètes à un instant donné.

Au point de vue de l'étude qui nous occupe spécialement (étude des mou-

Souvent on multiplie les deux membres de la relation (2) par le coefficient m propre à la première planète considérée, coefficient qui, pour cette planète, joue le rôle de M dans le cas du Soleil, de m'..... dans le cas des autres planètes ; ordinairement, au lieu de (2), on écrit donc :

$$(3) \qquad mj = fm\left(\frac{M}{r^2} + \frac{m'}{\Delta^2} + \cdots\right),$$

ou, en appelant P tout le second membre,

$$(4) \qquad mj = P.$$

La formule (3) ou, ce qui est la même chose, la formule (4), est la formule que nous avions particulièrement pour objet d'établir.

De même que les formules (1) et (2), les relations (3) et (4) sont des relations géométriques, en ce sens que, pour former les sommes indiquées dans les seconds membres, on doit avoir égard à la direction et au sens des vecteurs en même temps qu'à leurs grandeurs.

Pour les autres planètes et pour le Soleil lui-même, on écrit des relations analogues à (3) ou à (4).

Nous définirons bientôt le coefficient f qui entre dans les formules (1), (2) et (3). Pour le moment, bornons-nous à dire que c'est un nombre appelé la constante newtonienne.

Le coefficient M qui entre dans les mêmes formules, est un nombre qui est la mesure de ce qu'on appelle la *masse* du Soleil ; m, qui entre dans (2) et (3) est un nombre qui est la mesure de la *masse* de la planète dont on étudie le mouvement ; m'.... sont à leur tour les mesures des masses des autres planètes.

vements relatifs des planètes autour du Soleil), on peut se borner à la formule (2), c'est-à-dire ne pas avoir égard à j_0. Nous devons cependant reconnaître que (2bis) est plus exact que (2) : grâce à l'introduction du terme j_0, on tient compte, en effet, de l'accélération, par rapport aux axes stellaires, dont tout le système solaire peut être animé à l'instant considéré.

C'est quand le mouvement du centre d'une planète est rapporté aux axes stellaires et que la relation définissant ce mouvement est mise sous la forme (3) ou (4), qu'on peut le mieux comprendre ce qui constitue la *mesure d'une force*, ou ce qui, dans la formule, *représente une force*.

Dans le cas considéré — on ne l'oubliera pas — le premier membre de la relation définissant le mouvement se compose exclusivement du produit mj de la masse par l'accélération. Quand il en est ainsi, chacun des termes du second membre représente ce que, par définition, on appelle *une force*.

Dans le cas des planètes, chacune des forces est, comme on le voit, une fonction de la distance de la planète étudiée au Soleil et aux autres planètes considérées en même temps. De même que le second membre de la relation (2), tout le second membre de la relation (3) constitue une somme de vecteurs. Ces vecteurs représentent maintenant des forces. Dans ces conditions, en vertu de la relation (3), on peut dire que le produit de la masse d'une planète par son accélération, considérée dans son mouvement par rapport au solide stellaire, est la résultante (ou la somme géométrique) des forces qui agissent sur elle.

Telle que nous l'avons admise, la formule (3) (où j se rapporte aux axes stellaires) est la formule la plus simple expliquant les mouvements relatifs des planètes et du Soleil. La formule (4), à son tour, est équivalente à (3), parce que, par hypothèse, le second membre de (4) n'est pas autre chose que le second membre de (3) écrit d'une façon abrégée.

Supposons maintenant que dans (5), savoir

$$mj = \mathrm{P}, \tag{5}$$

où j est toujours l'accélération du mobile par rapport aux axes stellaires, le second membre ne soit pas néces-

sairement identique au second membre de (3), mais soit plus généralement une somme de fonctions de la position et de la vitesse du point, voire même une somme de fonctions des positions et des vitesses des points en présence.

L'observation et l'expérience montrent que la formule (5) ainsi constituée peut être considérée comme la formule la plus simple définissant le mouvement d'un point matériel quelconque. Pour qu'il en soit ainsi, il suffit, dans chaque cas particulier, de donner à m et à P les valeurs qui leur conviennent pour le cas particulier que l'on étudie.

Cette équation (5) constitue ce qu'on appelle *l'équation générale de la dynamique*.

Dans le cas général de la formule (5), actuellement considéré, le coefficient m, de même que dans le cas particulier de la formule (3), est la mesure de ce qu'on appelle la *masse* du mobile, et les divers termes dont se compose P représentent, aussi bien que dans le cas particulier de la formule (3), les diverses forces qui agissent sur ce mobile ; P lui-même est la *somme géométrique* ou la *résultante* de ces forces.

Il importe de noter que, dans tous les cas traités en mécanique et en astronomie *classiques*, la quantité m, relative au point matériel en mouvement, est une constante, c'est-à-dire une quantité qui, tout en dépendant du point, est indépendante du temps, de la vitesse du point et aussi de celle de la lumière [1].

Si, se plaçant au point de vue physique ou objectif et non au point de vue exclusivement mathématique comme nous l'avons fait jusqu'à présent, on considère

(1) Il en est autrement dans la théorie des électrons et plus généralement dans les théories récentes fondées sur ce qu'on appelle le principe de relativité ; mais l'objet de cet article est de considérer uniquement les cas les plus ordinaires.

la force comme étant une cause qui intervient pour produire éventuellement l'accélération, on peut dire que le premier terme du second membre de la formule (3) représente la force due au Soleil et s'exerçant sur la planète de masse m ; c'est une force attractive. Le second terme du second membre représente la force provenant de la planète m' et s'exerçant aussi sur la planète m : c'est aussi une force attractive : et ainsi de tous les termes du second membre de (3).

Le mathématicien accepte volontiers aussi de regarder, avec le physicien, les forces comme étant les causes de l'accélération du mobile et, par conséquent, d'interpréter les termes du second membre de (3) comme dus à des forces attractives.

Toutefois, à partir de ce point, les rôles du physicien et du mathématicien sont essentiellement différents.

Après avoir considéré la force comme la cause de l'accélération et après être arrivé à la loi de l'attraction planétaire en interprétant la formule (3) à ce point de vue, le physicien imagine des hypothèses et recherche comment ces attractions peuvent se produire entre les corps.

Le mathématicien, au contraire, se sert de la formule (3) comme base de nouveaux calculs. Les conséquences de ces calculs doivent naturellement être vérifiées par l'expérience ou l'observation, au même titre que la formule (3) elle-même.

L'ensemble de ces déductions mathématiques de la formule (3) constitue la partie principale de la mécanique céleste.

Outre le nombre f pour lequel on prend une valeur invariable, la formule (3) renferme des nombres constants M, m, m',... qu'on cherche à déterminer avec plus d'exactitude, au fur et à mesure qu'on dispose de nouvelles séries d'observations. Pour une date déterminée, la différence entre les données de l'ob-

servation et les résultats du calcul doit évidemment, si la formule (3) est rigoureuse, tendre vers zéro au fur et à mesure que les calculs sont plus précis, les moyens d'observation plus perfectionnés et les valeurs attribuées aux masses et aux distances plus exactes.

On notera que, pour les mathématiciens et les physiciens, ce n'est pas une force qui maintient la *vitesse* d'un point tant en grandeur qu'en direction ; pour eux [1], si le mouvement est rectiligne et uniforme, $j = 0$: il n'intervient donc alors aucune force, ou, du moins, la résultante des forces est nulle.

Nous avons dit que les quantités M, m, m'..... qui entrent dans les relations (2), (3) et (4), sont les mesures respectives de ce qu'on appelle les masses du Soleil et des planètes. On peut encore dire, en considérant la relation (5), que la masse est cette grandeur qui entre, par sa mesure m, dans l'équation générale de la dynamique, mais il n'est pas possible de définir la masse autrement que par sa mesure.

Dans les cas classiques, les seuls ici considérés, la masse est donc « ce quelque chose » qui fait que l'accélération communiquée à un point (ou à un corps) par des forces données est d'autant plus petite que « ce quelque chose » est plus grand.

Si l'on se fonde sur les notions de force et de masse telles que nous les avons données à la suite de la formule (3) et si on la traduit en langage ordinaire, cette formule (3) fournit ce qu'on appelle le *principe de l'attraction* (ou *de la gravitation*) *planétaire*. Ce prin-

(1) Comme nous le disons à la dernière note de cet article, contrairement aux mathématiciens et aux physiciens, les métaphysiciens appellent *force* toute cause seconde de déplacement dans l'espace ; pour ces derniers, un mouvement rectiligne et uniforme est donc dû à une force.

cipe, dû à Newton, peut s'énoncer comme suit : *Les mouvements des centres du Soleil et des planètes par rapport au solide stellaire* (1) *sont les mêmes que si le Soleil et les planètes s'attiraient proportionnellement à leurs masses et en raison inverse du carré de leurs distances.*

Le coefficient f, qui intervient dans les formules (2) et (3), est numérique. Ce coefficient est appelé — nous le savons — la *constante newtonienne* : il représente l'attraction de l'unité de masse sur l'unité de masse à l'unité de distance.

En adoptant, comme on le fait ordinairement en astronomie, pour unité de longueur, la distance moyenne de la Terre au Soleil, pour unité de temps, notre jour civil, pour unité de masse, la masse du Soleil, Gauss a trouvé la valeur 0,017 pour la racine carrée de la constante newtonienne f. C'est cette racine carrée qui intervient dans la détermination de la section conique décrite par un point exclusivement soumis à l'attraction du Soleil. Voici, en effet, les résultats du calcul (2) :

(1) Il est bon de noter que l'inconnue j_0, qui entre dans les formules du genre de (2bis), disparaît si l'on rapporte les mouvements planétaires à des axes héliocentriques de direction stellaire.

En comparant les résultats des observations ramenées à ce même système d'axes aux conséquences du calcul obtenues dans les mêmes conditions, on a trouvé un accord très satisfaisant entre les uns et les autres.

Cette constatation est de la plus haute importance : grâce à elle, l'étude des mouvements planétaires peut se faire sans qu'on ait à se préoccuper de la présence de j_0 dans la formule (2bis), plus exacte que (2).

Dans un article spécial, nous comptons examiner succinctement dans quelle mesure la loi newtonienne de l'attraction planétaire est confirmée par l'observation. Nous verrons qu'elle est confirmée dans la très grande généralité des cas : jusqu'à ces dernières années, on estimait que les rares et légères discordances entre les faits observés et les résultats du calcul fondé sur cette loi pourraient être expliquées sans qu'on ait à modifier la loi elle-même. En appliquant le principe de relativité, on est parvenu récemment, semble-t-il, à expliquer la plus sensible de ces discordances en ayant égard à la non-instantanéité de la propagation de la lumière et à la vitesse du mobile et en généralisant la transformation introduite par Lorentz dans la théorie électromagnétique.

(2) Cf. Oppolzer-Pasquier, *Traité de la détermination des orbites des comètes et des planètes*, Paris, Gauthier-Villars, 1886, p. 50.

La trajectoire est elliptique, comme c'est le cas pour les planètes, quand la vitesse du mobile est plus petite que $\sqrt{\frac{2f}{r}}$, où r est le rayon vecteur allant du Soleil à la position de la planète pour l'époque considérée : la trajectoire est parabolique si la vitesse du mobile à l'instant que l'on considère est égale à $\sqrt{\frac{2f}{r}}$: et elle est hyperbolique si cette vitesse est plus grande que $\sqrt{\frac{2f}{r}}$.

Ces résultats supposent d'ailleurs implicitement que la vitesse n'est pas dirigée suivant le rayon vecteur lui-même.

La valeur numérique de $\sqrt{f}$, telle qu'elle a été calculée par Gauss et fondée sur la connaissance qu'il possédait de la masse de la Terre par rapport à celle du Soleil et de la distance moyenne de la Terre au Soleil, pourrait être aujourd'hui améliorée, attendu que cette double connaissance est maintenant plus précise. Afin de ne pas modifier la valeur de cette constante fondamentale, on préfère conserver pour $\sqrt{f}$ celle que Gauss lui a assignée : seulement il est alors entendu que l'unité de longueur n'est pas rigoureusement la distance moyenne de la Terre au Soleil, mais la valeur que Gauss attribuait à cette distance [1].

A elle seule, la masse M du Soleil vaut, en nombre rond, 700 fois la somme des masses de toutes les planètes.

Dans la formule (3), le premier terme de l'expression entre parenthèses est donc grand relativement à la somme de tous les autres. Par suite, on a déjà une formule très approchée en négligeant ces derniers

(1) Oppolzer-Pasquier, *Traité de la détermination des orbites*... p. 49. Connaissance des temps pour 1915, p. xi.

termes devant le premier. En opérant de la sorte, on retombe sur la formule (1) qui définissait le mouvement képlérien par rapport à des axes héliocentriques restant constamment parallèles aux axes stellaires, tandis que le mouvement défini par la formule (3) se rapporte — nous le savons — aux axes stellaires eux-mêmes. On en conclut que le mouvement képlérien est sensiblement le même par rapport aux deux systèmes d'axes considérés et qu'il ne diffère que relativement peu du mouvement réel ou troublé. C'est grâce à cette circonstance que Kepler a pu découvrir ses lois.

Après avoir déterminé les forces qui interviennent dans le mouvement des planètes, Newton a recherché la force qui maintient notre satellite dans son orbite et il a constaté que cette force peut elle-même être considérée comme une attraction provenant surtout de la Terre et agissant, comme dans le cas des planètes, proportionnellement aux masses en présence et en raison inverse du carré de la distance. Puis il a songé au mouvement des corps à la surface de la Terre et il a estimé que la chute des corps peut elle-même être considérée comme due à une attraction provenant surtout de la Terre et variant proportionnellement aux masses et en raison inverse du carré de la distance.

Il nous reste à indiquer comment on peut concevoir l'extension de la loi newtonienne aux corps qui sont en dehors de notre système solaire (étoiles et nébuleuses).

En réalité, parmi les innombrables étoiles qui scintillent au firmament, les unes peuvent être considérées comme isolées, en ce sens qu'elles ne sont pas accompagnées de satellites, mais d'autres constituent des systèmes binaires, c'est-à-dire composés de deux étoiles : l'une, la principale, l'autre, le compagnon. On connaît plus de dix mille systèmes semblables, et le mouvement de l'étoile satellite par rapport à l'étoile

principale se fait d'après les deux premières lois de Kepler. D'autres étoiles constituent des systèmes ternaires, quaternaires, etc... Quand on compare entre elles les observations des mêmes étoiles pendant un long intervalle de temps à l'aide des moyens les plus précis, on constate que non seulement les étoiles satellites se déplacent par rapport à leur étoile principale, mais que les étoiles isolées et aussi les systèmes d'étoiles possèdent généralement un mouvement très lent. Nous disons *généralement*, parce qu'il existe certaines étoiles dont, dans l'explication la plus simple des mouvements de l'ensemble étoilé, on n'a pu jusqu'ici déterminer les déplacements : ce sont ces étoiles que nous appelons les *étoiles fixes*.

Bien que l'état actuel de la science n'ait encore pu confirmer que les deux premières lois de Kepler dans le cas des étoiles et cela pour les systèmes binaires, on peut penser que la loi de l'attraction newtonienne est générale, c'est-à-dire qu'elle s'applique à toute la matière créée. Elle devient alors *le principe de la gravitation universelle*, qui peut s'énoncer comme suit :

Très approximativement, dans tout l'univers, les mouvements des corps ont lieu comme si deux points matériels situés à une distance sensible l'un de l'autre s'attiraient en raison directe des masses et en raison inverse du carré de leur distance.

On manque cependant des bases nécessaires pour la détermination des axes par rapport auxquels cette loi générale se vérifierait au moins d'une façon très approchée.

Comme beaucoup le savent, le problème de la détermination du mouvement d'une planète accompagnée d'un satellite est décomposé en deux : on étudie d'une part, par rapport à des axes héliocentriques de direction

stellaire, le mouvement du centre de gravité [1] de la planète et du satellite; d'autre part, on étudie, par rapport à des axes de direction stellaire passant par le susdit centre de gravité, le mouvement de la planète et le mouvement du satellite.

La détermination du mouvement des systèmes stellaires est loin d'être aussi avancée : beaucoup d'astronomes estiment bien qu'un grand nombre d'étoiles peuvent être distribuées en courants stellaires spéciaux, mais la connaissance de ces courants est encore imparfaite. De plus, même pour les étoiles isolées et les systèmes binaires, on ne sait pas déterminer les axes auxquels il y aurait lieu de rapporter les mouvements pour l'application du principe de la gravitation dans les cas stellaires les plus simples. Tout ce qu'on peut faire de précis dans cet ordre d'idées, c'est, à l'occasion des systèmes binaires, d'étudier le mouvement de l'étoile compagnon par rapport à des axes qu'on cherche à choisir de manière à donner à l'ensemble des mouvements considérés l'explication la plus simple.

On a ainsi pu constater — nous l'avons déjà dit — que les deux premières lois de Képler — loi des aires et ellipticité de l'orbite — s'appliquent, dans les systèmes binaires, au mouvement du compagnon autour de l'étoile principale, de même que ces lois s'appliquent aux planètes dans leurs mouvements autour du Soleil et au satellite d'une planète dans son mouvement autour de la planète elle-même.

(1) De même qu'en mécanique, le centre de gravité auquel il est fait ici allusion est le point dont les coordonnées (ξ, η, ζ) par rapport aux axes choisis satisfont aux relations

$$\mu\xi = mx + m'x' + m''x'' + \ldots$$
$$\mu\eta = my + m'y' + m''y'' + \ldots$$
$$\mu\zeta = mz + m'z' + m''z'' + \ldots$$

dans lesquelles les quantités m, m', ... sont les masses des corps en présence, (x, y, z), (x', y', z'), ... leurs coordonnées respectives, et où

$$\mu = m + m' + m'' + \ldots$$

N'abandonnons pas ce sujet palpitant d'intérêt sans noter encore que le principe de la gravitation a conduit non seulement à la découverte de la planète Neptune, mais encore à celle de compagnons de certaines étoiles telles que Sirius, Procyon, etc.

Ce sont là des confirmations grandioses du grand principe : nous devions bien les signaler ici tout en comptant y revenir une autre fois avec plus de développements.

Dès le début de cet article, nous avons dit qu'un mouvement étant un changement de position et les seules positions déterminables étant relatives, on n'étudie en mécanique et en astronomie que des mouvements relatifs : ce sont les seuls que nous ayons examinés jusqu'à présent.

Par opposition à l'expression *mouvements relatifs*, les métaphysiciens donnent le nom de *mouvements absolus* aux mouvements qu'ils étudient. Nous croyons utile d'en dire quelques mots.

Le mouvement absolu des métaphysiciens est le mouvement (ou le changement de position) dans l'espace. Sans nier son existence, nous estimons que, sauf le cas où l'on connaît la force agissante, il n'est déterminable dans aucune de ses parties sans la considération des mouvements relatifs : nous ne savons, en effet, à quel signe, sans cette considération, on pourrait le reconnaître et encore moins comment on pourrait le mesurer.

Nous pensons toutefois que l'intervention des mouvements relatifs, par laquelle nous sommes obligés de passer dès qu'il s'agit de mesurer des déplacements, peut n'être qu'un moyen de recherche et de contrôle.

Voici notre pensée d'une façon plus précise.

Nous avons dit qu'en règle générale, pour constituer la science mécanique, on doit chercher à rapporter les

mouvements à des axes par rapport auxquels les accélérations acquièrent leur expression la plus simple. Cela étant, la cause à laquelle on est amené à attribuer cette accélération s'impose en quelque sorte ; en d'autres termes, la force qui est déduite de la formule renfermant, dans un cas donné, l'expression la plus simple de l'accélération peut être regardée comme la cause de celle-ci, ou, si l'on veut, comme la cause du mouvement observé, abstraction faite de la vitesse elle-même. Si nous admettons — ce qui semble bien légitime — que le mouvement absolu comprend le mouvement dont il vient d'être question, nous pourrons conclure que la cause seconde à laquelle les métaphysiciens attribuent les variations de vitesse dans le mouvement absolu comprend la force dont la mesure intervient dans les formules fournissant pour l'accélération l'expression la plus simple [1].

Dans le cas particulier des planètes, par exemple, il semble légitime d'admettre que le mouvement déterminé par la loi de l'attraction est très sensiblement l'un des mouvements dont l'ensemble constitue le mouvement absolu.

Nous disons *l'un des mouvements*.... parce que les planètes, qui sont alors les mobiles considérés, ont certainement d'autres mouvements que celui de leurs centres autour du Soleil. On sait en effet, que les planètes, la Terre comprise, tournent sur elles-mêmes, chacune autour d'une droite passant par son centre, et que tout le système solaire se dirige actuellement vers un point, imparfaitement déterminé, de la constellation d'Hercule, avec une vitesse de 15 à 20 kilomètres à la seconde.

(1) Comme nous l'avons déjà dit dans une note de ce chapitre, les métaphysiciens appellent *force* toute cause de déplacement dans l'espace ; pour eux, le mouvement rectiligne et uniforme est dû à une force, tandis que pour les mathématiciens et les physiciens, il n'y a de force que s'il existe une accélération, donc une variation de vitesse, soit en grandeur, soit en direction.

Pour reconstituer le mouvement absolu, rien que pour le cas d'une planète, on devrait encore avoir égard aux mouvements internes dont l'astre considéré est certainement le siège. Puis on devrait se rappeler que la loi de l'attraction a été obtenue en considérant comme invariables les distances angulaires des étoiles; pour obtenir le mouvement absolu, on devrait donc tenir compte aussi des déplacements angulaires des astres de repère.

Ce n'est pas tout. Pour arriver au mouvement absolu, rien que pour le cas de la planète étudiée, on devrait encore ajouter, outre la vitesse initiale, s'il y en a eu, les mouvements ultérieurs de la portion de la matière qui a donné naissance à l'astre, et cela depuis le moment où la matière est sortie, avec ses propriétés, des mains du Créateur jusqu'à celui où la portion considérée est parvenue à son état actuel.

La science est impuissante — et le sera sans doute longtemps encore — à résoudre définitivement un problème d'une telle envergure.

En résumé, on peut bien admettre, semble-t-il, que le mouvement absolu des métaphysiciens se compose d'un ensemble de mouvements relatifs et, par conséquent, que la cause de l'un se compose de l'ensemble des causes des autres. On doit cependant reconnaître que, dans un cas donné, le mouvement absolu ne peut pas être plus reconstitué que l'ensemble des mouvements relatifs eux-mêmes, car il est toujours vrai de dire, en parlant de la matière : « L'une des choses que nous connaissons le moins, c'est son commencement ».

Ern. Pasquier.

COMMENT
ON ENTENDAIT LE CANON

(Suite)

Il est temps de dépouiller la riche moisson expérimentale recueillie pendant la guerre dans le voisinage du front occidental (1). Ce qui est acquis d'abord, c'est que le phénomène des zones de silence en particulier, et celui de la propagation à grande distance en général, est capricieux et, en somme, assez rare.

M. E. Vanderlinden, par exemple, observant quotidiennement à Uccle (Institut Royal Météorologique de Belgique) à des distances du front comprises entre 105 (Ouest) et 190 km. (Sud-Est), compte, pour la durée totale de la guerre, 197 jours où le son du canon a été perçu *facilement*, soit un jour sur huit environ. Et sur ce nombre, combien de fois la zone de

(1) Voici les sources principales où nous avons puisé nos renseignements. Elles sont, malheureusement, trop peu complètes, la plupart des bibliothèques belges n'ayant pas encore réussi à combler entièrement, dans leurs collections, les lacunes de la guerre.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t. 163 (1916), p. 272, (A. Pérot) ; t. 165 (1917), p. 1057 (V. Schaffers).

Société française de Physique, 7 déc. 1917 (A. Pérot, Gal Brugère, etc.).

Annales de la Société scientifique de Bruxelles, 39me année, avril 1920 (E. Vanderlinden) ; novembre 1919 (V. Schaffers).

Physikalische Zeitschrift, t. 17 (1916), p. 31, p. 283 ; t. 18 (1917), p. 134, p. 501 (F. Noelke).

Annalen der Hydrographie, t. 48 (1918), p. 36 (Bücking).

Academy Amsterdam. Proceedings, t. 18, 2 (1916), (van Everdingen). Ce mémoire est traduit, avec quelques abréviations, dans la Revue Générale des Sciences, 30 avril 1916.

silence a-t-elle été constatée ? Il serait très intéressant de le savoir ; mais, malheureusement, les documents font défaut jusqu'ici. Omori a étudié les phénomènes sonores sur vingt-deux éruptions importantes du volcan Asama, au Japon, de 1910 à 1913 : la zone de silence s'y est présentée une fois sur deux. Il serait, évidemment, téméraire de tirer des conclusions générales de cette constatation, mais on peut remarquer que la proportion est sensiblement la même pour les grandes explosions de dépôts de munitions qui ont eu lieu depuis le début du siècle.

Si on cherche à classer les observations d'après leurs relations avec le vent et la température, on trouve immédiatement une dépendance évidente vis-à-vis de ces éléments météorologiques, mais, chose extrêmement curieuse, les lois de cette dépendance, de part et d'autre du front, sont inverses. L'opposition est très nette, et les conclusions des observateurs des plus formelles. A l'E et au N de la ligne de feu, c'est en hiver seulement qu'on entend le canon, et on l'entend mieux de nuit que de jour ; à l'W et au S on ne l'entend qu'en été, et il ne semble pas qu'il y ait beaucoup de différence entre la nuit et le jour.

« De nombreuses observations, dit F. Noelke, ont établi que l'audition à grande distance du son du canon est limitée principalement à la saison froide. » A Uccle (Bruxelles), M. Vanderlinden a trouvé la répartition mensuelle suivante des cas enregistrés par lui durant les quatre années de guerre :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
29	20	30	4	8	1	3	4	12	16	19	51

soit 32 cas pour le semestre d'été, contre 165 pour le semestre d'hiver.

Voici, d'autre part, la conclusion d'un observateur

français, M. Maurice Collignon (1), qui notait les bruits à Louviers (Eure) : Le grondement du canon « se produit uniquement du commencement de mai au commencement de septembre. Le reste de l'année il y a silence presque complet ». J'ai fait moi-même des constatations tout à fait analogues à Hastings (Angleterre), sur la Manche, pendant toute la durée de la guerre. En hiver le canon ne s'entendait presque jamais, tandis que pendant la saison chaude, il y avait de longues périodes où il ne s'arrêtait de tonner ni jour ni nuit. Près de Chelmsford (Essex), M. Christy (2) l'entendait également « pendant les mois d'été seulement ».

Le même désaccord semble exister, entre l'un et l'autre côté de la ligne de feu, sur l'influence du vent. En Allemagne et en Belgique on signale souvent, avec étonnement, la grande portée du son à contre-vent ; mais quand il s'agit d'envisager l'ensemble des relevés obtenus, plusieurs observateurs déclarent que les cas, où le vent soufflait dans la direction de propagation du son, étaient en nombre sensiblement égal. M. Vanderlinden, à Uccle, trouve même que « dans la majorité des cas, pour les grondements entendus d'entre S et SW, les directions à composante W prédominent largement », surtout quand on considère les vents supérieurs. Cette dernière remarque n'est pas inattendue, d'après la théorie ébauchée dans la première partie de notre travail. Quant à la prédominance des composantes W dans les couches basses, elle doit être interprétée avec précaution. Nous y reviendrons.

Au S et à l'W de la ligne de feu, au contraire, les observateurs sont unanimes à constater que l'audition se produit presque exclusivement à contre-vent.

(1) Comptes-rendus, Paris, 26 août 1918.
(2) Nature, Febr. 27, 1919, p. 518, d'après Royal Meteorol. Soc.

M. Fr. Houssay, à Sceaux, entendait mieux par vent du N que par vent du S.

M. A. Pérot, également dans les environs de Paris, à 120 km. du front, affirme que « le son du canon est rigoureusement nul par vent du N ou de l'E, mais qu'on l'entend quand le vent passe à l'W ou au S ».

Le général Brugère, dans sa propriété de Bellegarde (Loiret), à 200 km. du front, a entendu plusieurs fois le canon dans l'été de 1917, « toujours par vent contraire ».

J'ai publié (Comptes rendus, *loc. cit.*) un aperçu de mes observations à Hastings (Anglet.) jusqu'en 1917. Une des périodes les plus remarquables fut la bataille de la Somme (début le 1er juillet 1916, après une longue préparation d'artillerie), pendant laquelle les grondements du canon nous parvinrent, jour et nuit, presque sans interruption, pendant trois mois. « Or, en juin et juillet, le vent eut constamment une composante W (direction opposée à celle du champ de bataille, distant de 165 km.), août n'eut que quatre jours à composante E, septembre et octobre n'en comptèrent pas beaucoup plus ». Dans le détail inédit de mes notes du mois d'août 1917, première période de la grande bataille anglaise autour d'Ypres, je trouve les constatations suivantes :

Sur les 24 journées consécutives du 4 au 28, il n'y en eut que trois sans grondement de canon, dont deux par vent d'E et une, douteuse, par vent d'W. Les 21 autres entendirent le canon, et une seule fois ce fut par vent à composante E, mais si faiblement que l'observation est notée comme douteuse. Les journées du 9 et du 13 sont intéressantes, parce qu'elles ne donnèrent rien tant que le vent souffla du S ; le soir seulement, quand il vira à l'W, le canon se fit entendre, et tout de suite devint fort. Il en fut à peu près de même le 20. En 1918, l'allure du phénomène fut la même,

avec cependant un nombre un peu plus grand de cas d'audition par vent à composante E.

Devant ces exemples, qu'on pourrait multiplier, on comprend que les auteurs allemands s'attachent presque exclusivement dans leurs essais de théorie, à l'influence des variations de température, et que du côté français et anglais, on se soit préoccupé davantage de l'action du vent. Comme on l'a fait observer (par exemple Noelke, *loc. cit.*), les inversions de température à quelques kilomètres de hauteur qui favorisent le retour des ondes sonores ascendantes, sont fréquentes en hiver au-dessus du continent, et très rares en été ; d'autre part, en hiver, il y a moins de courants chauds verticaux qui troublent la transparence acoustique du milieu atmosphérique. Il n'est donc pas étonnant que le maximum des cas d'audition lointaine coïncide avec la saison froide, et l'explication météorologique pour les pays situés au N et à l'E du front semble entièrement satisfaisante.

M. Vanderlinden a remarqué aussi dans la plupart des cas étudiés par lui, « une forte humidité de l'air et une nébulosité intense ». Cette constatation est intéressante, mais elle ne semble avoir de signification que par son rapport avec la température. Par elle-même, en effet, la vapeur d'eau de l'atmosphère n'exerce qu'une influence minime sur la vitesse de propagation du son. Mettons, par exemple, que sa force élastique soit 0,76 cm ou un centième d'atmosphère, ce qui est beaucoup pour la saison d'hiver. Sa densité relative étant 0,622, il est aisé de calculer celle du mélange vapeur-air, soit 0,99. De là, par la proportionnalité inverse qui relie la racine carrée de la densité à la vitesse du son, on tire $V = 331{,}66\sqrt{1+\alpha t}$ au lieu de $331\sqrt{1+\alpha t}$ dans l'air sec. La différence est insignifiante. Mais la vapeur d'eau a une influence marquée sur la distribution des températures. En hiver, notam-

ment, elle correspond à des gradients très faibles dans le sens vertical, fréquemment même, comme on l'a vu, à des inversions. De plus, la restitution de la chaleur de vaporisation au moment de sa condensation, échauffe l'air avoisinant. C'est ainsi que Flammarion, dans ses ascensions en ballon, a trouvé ordinairement des sauts de température de 2 à 4 degrés en pénétrant dans les nuages, la température la plus élevée étant celle du bord supérieur.

Il y a donc contradiction nette entre les conditions favorables exigées de part et d'autre du front ; mais des deux côtés on s'accorde sur l'importance qu'il faut attribuer aux facteurs météorologiques. Comment résoudre cette antinomie ?

Remarquons d'abord que les lois reconnues paraissent beaucoup plus tranchées du côté anglo-français que du côté allemand. Pour le vent, par exemple, nous avons rapporté l'opinion générale qui regarde sa direction comme indifférente à l'E de la ligne de feu. Nous avons mentionné à ce propos le travail de M. Vanderlinden, le seul qui trouve une prédominance marquée de la composante dirigée dans le sens de la propagation, et nous n'avons pas cru devoir accepter cette conclusion sans réserves. On ne peut, en effet, au point de vue dont il s'agit ici, accorder un grand poids à ce travail, d'ailleurs consciencieux et complet, parce que le savant météorologiste d'Uccle avait la mauvaise fortune d'observer à 105 km d'Ypres, c'est-à-dire à moins de 100 km (à certaines époques moins de 90 km), des batteries allemandes. Or, cette distance tombe tantôt dans la seconde zone d'audibilité, tantôt dans la première (1) : et dans la première zone, on l'a vu, la portée du son est maximum sous le vent. C'est très

(1) Un exemple très net est rapporté dans CIEL ET TERRE, XXXVIe année, n° 4 (avril 1920), p. 111.

probablement cette dernière influence qui se fait sentir ici.

M. Vanderlinden lui-même nous fournit du reste un beau cas absolument conforme à la double règle de la saison et du vent qui s'affirme avec une régularité si constante à l'W du front. C'est celui de la canonnade de Verdun « qu'en mai 1916 il a pu entendre maintes fois et sans difficulté, par vent le plus généralement d'entre W et NW et vents supérieurs de même direction ». Or, Verdun est à 190 km d'Uccle, donc franchement dans la deuxième zone d'audibilité, et, de plus, au S-SE de cette station, direction conforme à celle des champs de bataille d'Artois et de Picardie par rapport aux stations anglaises.

Il serait facile de réunir d'autres témoignages d'où résulte l'influence prépondérante du vent contraire. Voici, par exemple, F. Noelke *(loc. cit.)* qui constate que « d'après de nombreux observateurs, le tonnerre » d'artillerie au front Ouest s'entend plus souvent avec » force par vent d'E que par vent d'W ». Il n'ajoute malheureusement aucune précision.

Mais on en trouve de très intéressantes dans un travail du Dr Bücking *(loc. cit.)* sur un certain nombre de cas observés en Allemagne pendant les deux premières années de la guerre. La période du 21 au 27 septembre 1915 a fourni de très grandes distances d'audibilité par vents assez variables au niveau du sol, le SW étant prédominant jusqu'au 23, ensuite le NE, avec inversions de température très nettes. Les exemples de vents du NE surmontés d'un courant du SW à quelques kilomètres de hauteur, et sans inversion de température, sont bien plus nombreux dans le travail du Dr Bücking. Ceux des 20 et 21 août 1914 (bataille de Morhange), des 18 juin et 6 juillet 1915 sont particulièrement caractéristiques. C'est la réalisation exacte, constatée par tous les moyens d'observation en usage,

y compris les cerfs-volants et les ballons-pilotes, des conditions de relèvement des rayons sonores et de leur retour au sol sous la seule action des variations du vent, telles que nous les avons esquissées théoriquement. Elle montre que l'influence du vent est loin d'être aussi indifférente, à l'Est de la ligne de feu, que le feraient croire certaines appréciations d'ensemble relatées plus haut.

Le même travail de Bücking montre qu'il ne convient pas non plus d'avoir une confiance absolue dans l'affirmation des observateurs placés au N et à l'E de la ligne de feu concernant la répartition des grondements lointains par saisons.

Il est extrêmement suggestif, en effet, que sur les neuf exemples réunis par Bücking, sans égard à la saison, comme types des situations atmosphériques qui donnent lieu à l'audition lointaine pendant les deux premières années de la guerre, il y en ait cinq qui tombent dans les mois d'été, mai-août, un en chacun des mois d'avril et de septembre, saisons intermédiaires, un enfin en décembre et un en mars, qu'on peut considérer comme appartenant à la saison froide. Autrement dit, il s'en trouve sept dans le semestre avril-septembre et deux seulement dans le semestre octobre-mars. Rappelons aussi la canonnade de Verdun entendue à Uccle en mai 1916 par M. Vanderlinden. A noter encore, dans la répartition par mois donnée par ce savant, que les mois de septembre et d'octobre, qui n'appartiennent pas à la saison froide, présentent déjà un pourcentage respectable.

On le voit, les cas d'audition lointaine pendant la saison la moins favorisée sont bien moins rares, du côté allemand, qu'on pourrait être tenté de le croire. Il en va tout autrement du côté franco-anglais. Là on ne réussirait pas, selon toute vraisemblance, à réunir sept cas avérés en deux ans pendant la période hiver-

nale. Il est donc permis, jusqu'à plus ample informé, de tenir pour plus normale la loi franco-anglaise, et d'estimer que le nombre des observations concordantes relevées du côté allemand eût été plus considérable, si l'attention, de ce côté, n'avait pas été trop exclusivement fixée, dès le début, sur les inversions de température.

Dans le cas de l'Angleterre, j'ai indiqué (1) une circonstance sur laquelle on pourrait baser peut-être une explication acceptable de la plus grande fréquence de l'audition lointaine pendant la saison chaude. C'est que, pour parvenir dans les Îles Britanniques, les rayons sonores avaient à passer au-dessus de la mer sur un assez long parcours, car ils prenaient de biais la Manche ou la mer du Nord. Or, on sait qu'au-dessus de la mer, les inversions de température ont une tendance plus accentuée à se produire en été qu'en hiver, à cause du retard des variations de température des eaux sur celles de l'air influencé par les terres voisines. Il est à craindre néanmoins que ces inversions n'aient leur siège à trop faible hauteur, et ne soient utilisables que pour expliquer les zones de silence de petit rayon, telles que celles qui se forment autour des signaux de brume.

D'ailleurs, même si cette remarque levait la contradiction d'une manière satisfaisante pour l'Angleterre, elle n'aurait plus aucune valeur dans le cas des observations françaises, dont les conclusions ne sont pas moins formelles, et ainsi la question resterait sans réponse générale. Considérons donc de plus près les conditions communes aux deux pays, savoir : température élevée et vent contraire. Portons particulièrement notre attention sur la seconde.

Le vent contraire dont il est ici question est le vent d'W, et l'on sait que, dans l'Europe Occidentale, ce

(1) Annales de la Société scientifique de Bruxelles, 39e année, novembre 1919.

courant occupe le plus souvent toute la hauteur de la troposphère. D'après Bücking *(loc. cit.)*, sur les 1140 ascensions de cerfs-volants et de ballons-pilotes exécutées à Lindenberg en 1919, on ne rencontra que 8 fois, au-dessus d'un vent inférieur W, un vent de direction approximative E ; et encore approximative seulement, car, pas une seule fois, on n'eut deux courants diamétralement opposés.

On ne saurait se dissimuler que, dans ces conditions, le retour des rayons au sol devient à peu près impossible sous l'action du vent seul. Il faudrait pour cela, d'après nos principes, tout au moins une diminution considérable de la vitesse, à défaut d'un renversement de sens. Or, si cette diminution existe incontestablement en certains cas à des hauteurs appropriées, force est bien d'avouer que le plus souvent elle n'a pas pu être décelée par les observations. Il semble donc qu'en l'absence d'inversions de température, les grondements lointains du canon devraient coïncider moins fidèlement avec le vent contraire en France qu'en Allemagne, car, dans ce dernier pays, le vent dominant, au niveau des cirrus, est favorable au rabattement du son. Or, c'est exactement le contraire que l'on constate !

Faut-il alors aller chercher plus haut, c'est-à-dire dans la stratosphère même, le courant E-W dont nous avons besoin ? On croyait, il y a vingt ans (1), que la stratosphère était soumise à une translation générale vers l'E ou le NE, en conformité avec le courant W ou SW qui entraîne ordinairement les cirrus. Si cette opinion reflétait fidèlement la réalité, il n'y aurait pas d'espoir de trouver un milieu propice au retour des rayons sans s'élever à des hauteurs où la faiblesse de la pression réduirait l'intensité du son au-dessous des limites acceptables.

(1) Voir, par exemple, A. Angot, *Traité élémentaire de Météorologie*, p. 151.

Heureusement, le progrès des observations semble avoir modifié cette manière de voir. Les enregistrements de 55 ballons-sondes qui ont dépassé 15 km témoignent, d'après Ch. Maurain (1), d'un affaiblissement régulier du vent (où la composante W domine, ne l'oublions pas) à partir de 11 km, ce qui est précisément ce qu'il nous faut. Quelques-uns même, tel celui du 25 juillet 1907 à Uccle, parvenu à 26.6 km. montrent, au-dessus de 20 km, une prépondérance de plus en plus accentuée des composantes E. Le transport des cendres très fines de la fameuse éruption du Krakatoa (1883), qui donna lieu à de si remarquables crépuscules colorés pendant les années suivantes, se fit également de l'E à l'W, avec une vitesse moyenne de 35 à 45 m par seconde, à une altitude comprise entre 20 et 30 km. Il en fut de même des nuages lumineux qu'on observa à la même époque à 80 km de hauteur, et qui accusaient un mouvement deux ou trois fois plus rapide (100 m par sec.) dans le même sens. Il semblerait donc que les couches successives de la stratosphère soient de plus en plus en retard sur la rotation du globe, car c'est à cela qu'équivaut un vent d'E par rapport au sol. Encore une question des plus intéressantes que le canon de la grande guerre aura contribué à résoudre, au moins en mettant en évidence la nécessité d'en entreprendre l'étude systématique.

Si ces premiers résultats se confirment, nous disposons désormais d'une cause de retour au sol adéquate et toujours prête à entrer en activité. Elle agirait d'ailleurs avant que les rayons sonores ne soient parvenus à un niveau où la raréfaction de l'air compromettrait irrémédiablement l'effet attendu ; car il est clair que pour compenser le relèvement du rayon sonore dû à l'accroissement de la vitesse du vent, il

(1) Comptes rendus. Paris, 29 déc. 1919.

suffit ensuite d'une diminution égale en valeur absolue, qui ramène cette vitesse exactement à ce qu'elle était près du sol. Le sommet de la trajectoire serait donc toujours situé plus bas que le niveau où la composante W s'annule, si l'on fait abstraction de la température, et, pour neutraliser l'influence de celle-ci, nous disposerions d'un excédent largement suffisant dans le résidu de la composante W et dans la composante E croissante qui la remplace un peu plus haut.

Indiquons rapidement deux autres difficultés qui paraissent moins malaisées à résoudre. La première est la grande objection de M. van Everdingen contre la théorie météorologique. Le relèvement du son et son rabattement par le vent ne pourraient, dit-il, se produire que suivant la direction même de ce vent. Par conséquent, dans le cas d'une source ponctuelle ou de peu d'étendue, les zones d'audibilité affecteraient toujours la figure d'une langue allongée suivant le lit du vent, et non la forme circulaire plus ou moins régulière que font voir les cartes. En particulier, il repousse résolument l'influence d'un vent de direction perpendiculaire à la propagation du son. Mais c'est oublier que le vent n'est jamais constant en direction, soit dans l'espace, soit dans le temps. En s'élevant dans l'atmosphère, les rayons sonores traversent fréquemment des courants divergents à diverses hauteurs, et surtout, sur les parcours considérables qu'ils font, ils doivent souvent aussi rencontrer des variations de température dans le plan horizontal, d'où peuvent résulter alors les mêmes changements de direction dans ce plan que ceux que nous avons considérés dans le plan vertical. Ces variations de température peuvent avoir des causes diverses : influence des sols sous-jacents diversement échauffés (influence des forêts, bien connue des aéronautes), composante verticale du déplacement

des couches d'air (très fréquente), qui donne lieu à un refroidissement par détente, etc. Reste enfin la diffraction, qu'on ne doit jamais oublier et qui disperse le rayon sonore en un faisceau divergent.

La situation des points d'arrivée par rapport à la source dépendra alors de la résultante générale des trajets que les rayons auront parcourus dans les diverses couches de l'atmosphère. L'ensemble de ces points se groupera dans une aire souvent assez étendue, ayant pour axe le lit du vent. C'est ce que montrent les cartes. Inversement, et ceci est une curieuse confirmation de notre explication, un point unique choisi dans l'aire d'arrivée recevra des rayons qui proviennent d'un grand nombre de points de la source quand celle-ci n'est pas ponctuelle. C'est le cas du son du canon pendant la récente guerre. A Hastings, par exemple, c'était presque toujours un roulement continu sur lequel se détachaient des détonations plus fortes, et dont le rythme paraissait aussi précipité que celui des formidables bombardements qui précédaient les grandes batailles. Or, la plupart du temps, on était tout étonné de ne trouver dans les journaux des jours suivants aucune allusion à quelque engagement un peu sérieux. On avait tout simplement reçu le faisceau convergent de la canonnade intermittente normale provenant d'un large secteur du front.

Voici une autre remarque qui n'est pas sans importance. Les mêmes influences qui modifient la direction des rayons sonores au moment où ils quittent le voisinage du sol, agissent aussi sur eux quand ils y reviennent. C'est même de ce second moment de leur action qu'il s'agit le plus souvent dans les observations publiées jusqu'à présent ; car la plupart des observateurs se bornent à noter les éléments météorologiques dans leur voisinage. En principe, ces influences sont concordantes : dans la mesure où elles relèvent les rayons sonores au

point de départ, elles tendent aussi à les ramener à l'horizontale près du point d'arrivée et par conséquent à reporter plus loin leur incidence sur le sol. Si les températures et les vents restaient identiquement les mêmes aux mêmes niveaux sur tout le parcours, la symétrie des deux branches de la trajectoire, à la montée et à la descente, serait parfaite, et les rayons redescendraient toujours exactement à la hauteur de la source dont ils sont partis. On devrait donc les percevoir régulièrement, dans un endroit donné situé à une distance convenable, chaque fois que dans cet endroit les circonstances météorologiques seraient favorables. Il est bien loin d'en être ainsi, et personne ne s'en étonnera, la troposphère étant, par définition, la région la plus instable et la moins symétrique de l'atmosphère. Quand tout semble favoriser une grande portée du son à la station d'observation, il se peut que les conditions soient moins bonnes soit à la source même, soit dans l'intervalle : il se peut même, et le cas ne doit pas être si rare, que les conditions soient trop bonnes, c'est-à-dire qu'à la descente les rayons sonores soient trop énergiquement déviés et qu'ils atteignent l'horizontalité avant d'être parvenus jusqu'au sol. Alors, continuant leur course sur une trajectoire concave vers le ciel, ils remonteront pour se perdre dans les hauteurs, sans avoir été perçus dans une seconde zone d'audibilité.

Mais, dira-t-on encore, et c'est la seconde difficulté qui nous reste à écarter, M. van Everdingen n'a-t-il pas reconnu, par l'étude de l'atmosphère à diverses hauteurs, au moyen de cerfs-volants, ballons-sondes, etc., que les conditions n'étaient, en fait, pas favorables au retour des rayons sonores sous l'influence de la température et du vent ? C'est le cas, notamment, du bombardement d'Anvers (octobre 1914), longuement traité dans son travail de 1915 à l'Académie d'Amsterdam.

En réalité, il n'en est rien. Mais il est vrai que ces résultats sont parfois présentés d'une façon inexacte. Le 8 octobre 1914, par exemple, il y avait un vent faible et variable de W à N à la surface du sol, virant progressivement au N-E à 3000 m. De plus, une forte inversion de température de 3°,8 à 10°,8 existait entre 2450 et 2950 m., avec une plus faible de 7° à 8°,3, entre 1100 et 1300 m.

Ces conditions, comme l'observe l'éminent météorologiste néerlandais lui-même, sont des plus favorables au rabattement du son vers le sol ; mais il ne veut s'en servir que pour expliquer la première zone d'audition. Toujours préoccupé de la théorie du retour par l'atmosphère d'hydrogène, il démontre que ces mêmes conditions ne peuvent nullement affecter les rayons voisins de la verticale qui, selon cette théorie, doivent aller former la seconde zone d'audition en s'élevant à plus de 70 km. Nous l'avons dit, cette considération est très exacte, mais c'est justement pour cela même qu'on a été obligé d'abandonner la théorie de M. van Everdingen, lorsqu'il a été établi par les observations que l'audition lointaine du canon, loin d'être indépendante du vent et de la température, est, au contraire, étroitement conditionnée par ces facteurs. Il ne reste donc qu'à étendre à la seconde zone d'audition l'efficacité qui leur est reconnue par M. van Everdingen lui-même pour la première.

A tout prendre, l'explication de la zone de silence par les variations du vent paraît donc acceptable jusqu'ici, sauf peut-être la hauteur, déjà inquiétante pour sa basse pression, où il faudra bien souvent aller chercher le courant capable de déterminer le retour des rayons sonores.

Mais nous avons fait abstraction de la température. Si nous cherchons à l'introduire dans notre théorie,

nous voyons de nouveau chanceler le système si laborieusement construit, et tout semble à recommencer. Ce qui nous a préoccupé surtout, en effet, ce n'est pas tant de trouver des causes de relèvement des rayons sonores, que d'en trouver une capable de les rabattre vers le sol, et c'est celle-là qui semble la plus malaisée à découvrir. Il est clair que la difficulté augmente avec l'énergie des causes de relèvement, et il faut donc s'attendre à trouver le maximum de fréquence du phénomène en coïncidence avec le minimum d'action de la chaleur, c'est-à-dire avec la saison froide. Encore une fois, c'est précisément le contraire qui se produit en réalité, et avec une régularité qui exclut toute ambiguïté.

Notre explication peut donc être vraie dans des cas particuliers, mais elle ne tient certainement pas comme théorie générale.

Après avoir écarté d'emblée la théorie physique et reconnu l'échec au moins partiel de la théorie météorologique pure, il ne nous reste plus, comme dernière ressource, semble-t-il, que la diffraction. Nous avons averti le lecteur, dès le début, que cette propriété importante allait gêner plus d'un essai d'explication. Contre la théorie météorologique, en particulier, elle a des arguments sérieux à faire valoir.

Si le phénomène qui nous occupe est dû uniquement aux variations du vent et de la température, le rayon sonore ne s'élève pas à plus d'une douzaine de km et souvent ne dépasse pas la moitié ou le tiers de cette hauteur. Comme, d'autre part, il ne revient généralement au sol qu'à 160 km de la source, il s'ensuit que sa courbure sera toujours très faible, même si on tient compte de la sphéricité de la terre. Dans ces conditions, il paraît inadmissible, étant données d'autre part la grande diffraction des rayons sonores et la facilité avec

laquelle ils contournent les obstacles, que l'ébranlement ne pénètre pas à l'intérieur d'un arc aussi surbaissé, et alors on ne conçoit plus la possibilité d'une zone de silence absolu. Tout au plus devrait-on observer un affaiblissement du son.

Qui oserait affirmer, pour le moment, qu'il n'en est pas ainsi ? Puisque l'intensité est déjà si peu considérable dans la seconde zone d'audibilité, là où aboutissent peut-être des rayons directs, on se rend compte qu'elle ait pu passer inaperçue là où on ne reçoit que des rayons diffractés. Ce sera un des points principaux à élucider quand on organisera des expériences méthodiques.

Dès à présent, d'ailleurs, il est bien rare que dans les zones de silence observées on ne signale quelques endroits isolés où le son a été perçu plus ou moins nettement.

Dans certains cas, notamment en pays accidenté, les territoires à audition nulle ou évanescente pourraient être mis en rapport avec la présence d'obstacles qui projetteraient une véritable ombre acoustique. Telle est l'explosion de l'Eigerwand, où le flanc de la montagne paraît avoir supprimé la propagation du son vers l'W.

Un autre exemple instructif est celui de la zone de silence étudiée par de Quervain (Noël 1914), d'après les observations allemandes, suisses et françaises, du canon de la Haute-Alsace (1). Elle était allongée le long du Jura suisse jusqu'au Feldberg (Forêt-Noire). Mais les grondements furent observés sur certains sommets. Bien plus, au Nord de la direction indiquée, ils ne formèrent pas de zone de silence et couvrirent uniformément la plaine du Rhin jusqu'à Stuttgart et Mannheim.

(1) Noelke, *loc. cit.*

Il convient donc d'admettre que la diffraction contribue tout au moins partiellement à l'audition, aux petites distances comme aux grandes ; car les vents et la chaleur relèvent presque toujours les rayons horizontaux. Sans la diffraction, la portée normale du son serait étonnamment courte. En effet, un rayon rectiligne tangent au sol près de la source passerait déjà, à cause de la courbure de la terre, à 8 m au-dessus à la distance de 10 km, à 500 m à la distance de 80 km, etc. Une concavité extraordinairement forte ou des formes de terrain qui intercepteraient les rayons diffractés pourraient seules supprimer ces fuites sonores, et ainsi s'explique très bien le caractère exceptionnel de la zone de silence.

On peut se demander alors s'il ne faudrait pas chercher là le mécanisme normal et ordinaire du retour au sol à grande distance en France et en Angleterre, plutôt que dans les variations de la température et du vent. Ces deux agents météorologiques resteraient, bien entendu, au nombre des causes nécessaires du phénomène, mais on ne leur demanderait plus que de relever les rayons. Or la difficulté principale est toujours, comme nous l'avons vu, d'expliquer leur retour, et la nouvelle théorie semble y réussir bien plus aisément.

Voici comment il faudrait alors concevoir la chose.

Dans toutes les directions autour du centre d'ébranlement la diffraction rabat sur le sol des dérivations sonores qui se répartissent symétriquement sur le terrain, avec des intensités décroissantes à mesure qu'on s'éloigne de l'origine. Qu'une cause de relèvement quelconque, vent contraire, accroissement de température, vienne alors à exercer son action sur les rayons les plus voisins de l'horizontale, ces rayons relevés verront leur portée augmentée. D'autre part, c'est dans le voisinage immédiat du sol que les causes en question agissent le plus énergiquement. Les rayons inférieurs

seront relevés plus fortement que les autres, et les croiseront sous des angles faibles ou même se superposeront à eux. Il en sera de même des rayons diffractés qui les accompagnent. On aura ainsi des caustiques ou nappes plus ou moins serrées de rayons, où l'intensité sera considérablement renforcée. C'est dans ces nappes seulement qu'elle atteindrait une valeur suffisante pour être nettement perçue à grande distance.

Cette fois, tout semble s'expliquer plus facilement. Nous avons une cause toujours présente de retour au moins partiel des rayons. Normalement, elle ne suffit pas à la perception du son. Pour devenir sensibles à l'oreille, il faut que les rayons soient concentrés en caustiques. Ils le seront d'autant plus énergiquement, en général, que le gradient de la température et celui du vent contraire seront plus prononcés dans le voisinage du sol. De là, tout naturellement, une plus grande fréquence de la propagation lointaine en été, et sa disparition quand le vent n'a pas une composante contraire. Du reste, cette activité normale de la diffraction n'exclut nullement le concours du vent et de la température quand les conditions requises sont réunies pour que ces agents météorologiques prennent leur part dans le rabattement des rayons sonores. Ainsi s'expliquent sans peine la plupart des types qui ne rentrent pas dans le cadre général tracé ici.

Il reste une chose pourtant dont notre théorie ne paraît pas pouvoir rendre compte. C'est le minimum d'été des observations belges et allemandes. On conçoit, à la rigueur, que le son ne disparaisse pas en hiver au N et à l'E de la ligne de feu, parce que les inversions de température combinées avec les vents y donnent naissance à un mode de rabattement des rayons sonores qui fait défaut de l'autre côté. Mais pourquoi s'évanouit-il en été, alors que l'avantage du côté belge-allemand sur le côté franco-anglais n'est pas moins évident, dans

cette saison ? Chaque fois, en effet, que le vent passe à l'E, le courant W des cirrus est toujours là pour aider au retour des rayons, tandis qu'au-dessus de la France la troposphère ne présente aucun courant qui remplisse la même fonction et qu'il faut aller lui chercher un succédané plus ou moins problématique dans la stratosphère.

Ou bien alors faudrait-il peut-être admettre que ce régime des vents favorise *à l'excès* le côté allemand, en ce sens qu'il rabat les rayons sonores avec une telle vigueur que tous ceux qui n'ont pas subi un affaiblissement excessif en s'élevant jusqu'à des couches atmosphériques trop raréfiées, sont ramenés au sol à des distances modérées, si bien qu'il n'en reste plus pour constituer ce que nous avons appelé la zone d'audibilité anormale? On aurait alors simplement une zone normale s'étendant un peu plus loin qu'à l'ordinaire, et cela serait assez en harmonie avec des observations telles que celles d'Uccle, citées plus haut, sur l'audition à 100 km par vent venant du front. L'hypothèse mérite, en tout cas, d'être discutée en détail, et confrontée avec toutes les observations publiées, ou encore à publier.

En somme, si nous analysons l'ensemble des situations pour les diverses périodes de l'année, nous trouvons qu'en toute saison l'Allemagne est plus favorisée que les pays de l'Ouest pour les causes de rabattement des rayons sonores. En hiver, cet avantage s'accentue, tandis que les causes de relèvement sont moins actives, et c'est en cette saison que se place le maximum. En France, au contraire, le maximum se manifeste pendant la saison où ce sont les causes de relèvement qui sont le plus énergiquement à l'œuvre, les causes de rabattement restant sensiblement les mêmes.

Résumons-nous. La capricieuse variabilité de l'audition à grande distance ne supporte pas l'explication

par l'incurvation des rayons sonores dans la haute stratosphère, qui conduirait nécessairement à un phénomène symétrique et constant, et qui d'ailleurs étoufferait le son dans un milieu à trop basse pression. Elle s'accommode, au contraire, de la répartition des températures et des vents, influences essentiellement variables et le plus souvent entremêlées. Un vent contraire ou une température élevée près du sol favorisent la montée des rayons sonores. Pour leur retour vers le sol, il faut soit une inversion de température, condition fréquemment réalisée en hiver du côté allemand, soit une diminution considérable du vent contraire ou son élimination progressive par un vent direct. Cette seconde condition a été souvent vérifiée en Allemagne dans la troposphère, mais elle ne l'est que très exceptionnellement en France et en Angleterre, parce que là le vent contraire est le vent d'W, qui ne change presque jamais de sens dans les 12 premiers km de l'atmosphère. Seulement, les explorations les plus récentes de la stratosphère semblent bien témoigner de l'existence d'un courant contraire de direction E-W à partir de 20 km. Ce serait ce courant, ou plutôt l'affaiblissement progressif du courant W subjacent, également observé, qui rabattrait les rayons sonores au-dessus de la France et de l'Angleterre, et sa constance serait la raison de la régularité remarquable qui caractérise, dans ces pays, la dépendance de l'audition lointaine vis-à-vis du vent contraire inférieur.

Mais cette théorie est impuissante à rendre compte de la variabilité du phénomène avec les saisons. On y réussit mieux en faisant intervenir la diffraction. Ce phénomène doit en toutes circonstances ramener au sol, tout autour de la source, des dérivations des rayons sonores, trop faibles pour être perçues dans les conditions ordinaires, mais qui atteindraient le seuil de la perception quand une cause telle que le vent contraire

ou la température, en relevant les rayons voisins du sol, les concentre en caustiques plus ou moins serrées. L'explication paraît adéquate pour la France et l'Angleterre, mais elle laisse encore sans solution définitive le problème du minimum d'été belge et allemand.

Il semble, dès lors, que la liste des hypothèses qu'on peut confronter avec les observations actuellement publiées soit épuisée. On ne peut guère espérer que d'autres constatations faites pendant la guerre viendront au jour, qui donneraient la clef des énigmes qui nous arrêtent encore ; tout ce qui a été trouvé de vraiment intéressant est vraisemblablement connu à cette heure. Il faut se résigner à admettre que le problème, comme il arrive souvent, a perdu sans retour la séduisante simplicité qu'il présentait au premier abord.

Mais une ressource suprême nous reste, à laquelle on n'a plus rien demandé depuis le temps de Tyndall, et qui pourtant offre la voie la plus assurée pour arriver à la solution complète et définitive : c'est le recours à l'expérimentation. Ce serait, il faut l'avouer, une expérience d'une belle envergure et qu'on ne devrait, bien entendu, aborder qu'avec une organisation parfaite et des ressources gigantesques. Combien il est regrettable qu'elle n'ait pas été entreprise au lendemain de la conclusion de la paix ! On disposait alors, d'une part, de quantités illimitées de canons et de munitions qu'on était dans la nécessité de détruire, ainsi que d'un matériel immense d'aviation et d'aéronautique ; d'autre part, d'un personnel très nombreux et bien exercé d'aviateurs et de météorologistes qui a attendu longtemps sa démobilisation graduelle. On aurait, par exemple, établi des batteries en quelque point de l'ancien front, pour tirer à des heures convenues, soit des salves, soit des coups espacés, de manière à permettre d'aider au calcul précis des trajectoires sonores par la détermination de la vitesse de propagation. Dans des directions

bien choisies, et notamment suivant les normales au front qui ont joué un rôle si important dans les observations de la guerre, on aurait échelonné, aux distances convenables, des postes d'écoute sur le sol, et, ce qui est bien plus indispensable encore, on aurait suivi la trace du son à diverses hauteurs dans l'atmosphère, au moyen de dirigeables ou d'avions en vol plané. Les observations météorologiques les plus minutieuses, cela va sans dire, auraient marché de pair, dans tous ces postes, avec l'observation acoustique.

Qui peut douter qu'avec un outillage aussi puissant, un secret de plus eût été ravi, à cette heure, à la physique de l'atmosphère ? Ce qui nous manque actuellement pour décider entre les diverses théories proposées, c'est justement, avec la trajectoire effective des rayons sonores, le tableau complet de la situation météorologique dans les diverses couches atmosphériques qu'ils traversent, et seul un programme d'expérience, à la fois ample et précis comme celui qui vient d'être esquissé, peut nous le fournir.

N'est-il pas trop tard pour en tenter l'exécution ? Peut-être. Mais qu'on se hâte alors, car chaque heure qui nous rapproche de l'achèvement de la démobilisation diminue les facilités et augmente les frais de cette grandiose expérience.

V. Schaffers, S. J.

Le Jeûne chez les Fourmis

Dans un article récent (1) nous avons raconté comment de jeunes reines de *Lasius Flavus*, complètement isolées, étaient parvenues, sans aucun secours extérieur, à fonder une fourmilière.

Tout en signalant le jeûne prolongé auquel elles avaient été soumises, nous ne nous y sommes pas arrêté. Revenons-y. La question est intéressante. Où un organisme peut-il trouver les ressources nécessaires à l'entretien de la vie et de l'activité extérieure, s'il ne les puise pas dans les aliments extérieurs ?

« Il ne faut pas vivre pour manger », c'est entendu. Mais faut-il manger pour vivre ? La vie dépend-elle nécessairement des éléments extérieurs qu'elle assimile ?

S'il s'agit du développement normal d'une vie entière, avec ses métamorphoses, sa croissance, sa reproduction, toute son activité, la réponse sera affirmative. Elle pourra être négative, lorsqu'il s'agira de périodes de jeûne plus ou moins prolongées. Les jeûnes de courte durée s'expliqueront aisément : plus ils s'étendront, plus l'explication en sera ardue.

Le poussin qui bèche sa coquille et en enlève une calotte pour faire son entrée dans le monde se condamne à la diète absolue durant quarante huit heures. Le boa qui sommeille en digérant une jeune chèvre, prolongera ses rêves huit jours durant. L'homme

(1) Revue des Questions scientifiques, juillet 1920, p. 148.

pourra rester quelques semaines en vie sans nourriture, tels les escapés de Courrière, sans parler de cas plus retentissants. Ce sont là des périodes de jeûne relativement brèves, qui se passent d'explication ; mais s'il s'agit de longs mois d'abstinence totale rigoureusement observée, comment expliquer la survie ? Mettons de côté les cas de vie latente, de vie ralentie, comme le sont les engourdissements des marmottes, les métamorphoses de certains insectes, les desséchements des tardigrades ; l'explication en sera relativement aisée. Elle deviendra plus difficile lorsque l'on se trouvera en présence d'une vie très active accompagnée d'un jeûne rigoureux.

Or, certains animaux pratiquent normalement une abstinence prolongée pendant des périodes très actives de leur vie. Que l'on se rappelle les expériences déjà anciennes de Miescher (1880, 1884) sur les saumons du Rhin. « Les saumons qui remontent ce fleuve pour frayer demeurent longtemps et parfois plusieurs mois sans nourriture ; durant ce temps leurs organes génitaux prennent un développement considérable aux dépens d'autres tissus et surtout des muscles » (1).

Revenons à nos fourmis.

On se rappellera que, capturées le 11 juillet 1917, nos reines furent enfermées dans un nid artificiel, simple baquet en plâtre, garni de sable et fermé d'un carreau de vitre. Après avoir procédé au dégagement du terrain, à l'aménagement de leur enclos, elles gardèrent pendant des mois leur vitalité entière, entourant de soins leurs compagnes vivantes et enterrant les décédées ; bien plus, elles virent s'adjoindre à tout cela les pontes exténuantes, l'élevage des larves, l'alimentation de celles-ci, non pas au moyen d'un aliment extérieur,

(1) *Orientations nouvelles dans l'étude du métabolisme animal*, par J. Maréchal, S. J. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, t. 24, IIIe série, 1913, p. 199.

mais au moyen de leurs propres réserves, et cela jusqu'en novembre, *sans avoir pris aucune nourriture*. A cette époque elles purent être ravitaillées pendant 15 jours par leur progéniture. Mais, celle-ci étant venue à disparaître, elles passèrent de nouveau tout l'hiver sans manger, reprirent au printemps la ponte et l'élevage des larves ; de nouveau *sans avoir reçu aucune nourriture*. Et cependant, on ne rencontrait chez nos reines aucune inquiétude, aucune nervosité. Les gestes sont calculés sans parcimonie et sans inutilité. Un auteur prétend que la santé doit se définir « la possession calme de la vie ». S'il en est ainsi, mes fourmis devaient se porter à ravir. En tout cas, elles ne souffraient pas de dyspepsie. Comme je l'ai dit, elles ne mangeaient pas, elles ne voulaient pas manger.

M. Forel, une autorité en myrmécologie, a consigné des observations du même genre. « L'origine des fourmilières a été fort peu suivie », dit-il. « Bien peu d'élevages ont réussi jusqu'ici », et comme sans doute il soupçonnait là un mystère, il voulut en avoir le cœur net et en entreprit la recherche. Voici le résumé et la discussion de son articulet (1). Ce résumé aura l'avantage de mettre clairement la question au point.

En août 1901, M. Emery qui aurait voulu lui-même élucider le cas, mais en fut empêché, remit à M. Forel une reine *Camponotus ligniperdus*. Celui-ci plaça cette femelle « dans une case fermée de toute part » contenant de la terre humide, « décidé à ne rien y ajouter d'autre, sous quelque prétexte que ce fût ». De tout l'hiver la femelle Camponotus « enkystée dans sa case » ne reçut aucune nourriture.

Le 2 février 1912, il y avait 4 larves, un ou deux œufs ; donc la femelle a dû nourrir ses larves sans recevoir de nourriture.

(1) Ann. Soc. entom. de Belgique, t. XLVI, 1902, pp. 180-182 et pp. 294-296. Origine d'une fourmilière de *Camponotus Ligniperdus*.

Le 24 février, un œuf de plus. Le 4 mars six œufs, deux larves, trois cocons.

Voici sa conclusion : « Nous avons ici un fait indiscutable d'une femelle de fourmi demeurée d'août 1901 en mars 1902 sans autre nourriture que de l'eau suintant à travers la terre, et qui, dans une chambre chaude, est demeurée non seulement alerte et bien portante, enfermée dans une prison, dont elle n'a pu, ni voulu sortir, mais qui a pondu des œufs et élevé 5 larves, dont 3 se sont transformées en chrysalides ». Chez moi la métamorphose s'est normalement achevée et 3 neutres naquirent le 27 octobre suivant.

Comment donc vivaient nos reines ? Leur soutien vital, car il en faut un, est-il externe à la fourmi ou interne ?

Il ne peut être externe. Depuis le jour où commença leur captivité, elles ne reçurent ni ne cherchèrent aucune nourriture. Leur enclos non plus n'en contenait point. Il était maintenu humide, condition *sine qua non* pour garder en vie les fourmis captives. L'eau joue un très grand rôle dans la nutrition et tout particulièrement dans le cas que nous examinons, mais *l'eau seule est insuffisante* au soutien tant soit peu prolongé de la vie. Forel fait remarquer que « les femelles sucent l'eau qui suinte à travers la terre, eau qui doit contenir certaines parcelles de l'humus » ; mais il ajoute aussitôt : « cela seul ne suffit pas ». Et pour ce qui regarde nos observations, le plâtre et le sable blanc qui entouraient nos fourmis, quoique incessamment madéfiés, ne devaient pas contenir beaucoup d'éléments nutritifs. De plus, si la fourmi avait extrait du sable sa nourriture, au lieu de le rejeter aux premiers jours de sa captivité pour faire place nette, elle l'aurait plutôt constamment déplacé et remué, pour y trouver des réserves fraîches de substances alimentaires.

Les reines n'auraient-elles pas importé de la nourriture ? Peut-être possèdent-elles des réserves cachées emportées avec elles lors de leurs migrations. Où auraient-elles placé leur garde-manger ? Où auraient-elles dissimulé leur nourriture mystérieuse ? *Serait-ce dans le jabot ?* Cette nourriture, forcément en très petite quantité, à la supposer même extraordinairement nutritive, aura été digérée et utilisée pendant le vol nuptial ou du moins après les premiers travaux de déblaiement pour la confection du nid.

« Il semble impossible, dit Forel (*loco citato*), que le jabot puisse encore contenir des matières albuminoïdes pour un jeûne aussi prolongé. » La même chose est à dire de la toute petite cavité placée au-dessous de la bouche servant au moulage des corps solides ou des détritus provenant du nettoyage du corps.

Mais voici une objection plus sérieuse. Elles ne peuvent avoir amené avec elles leur ravitaillement. Soit. Mais n'ont-elles pu emporter un petit germe de plante dont elles se constitueraient un potager qui leur fournirait la nourriture indispensable ?

De fait, certaines fourmis parviennent à se procurer ainsi des aliments pour leurs larves. Von Iehring (1) a constaté que les femelles de l'*Atta sexdens*, en quittant leur colonie maternelle, emportent dans leur hypopharynx une boulette de filaments mycéliens du champignon cultivé par cette espèce (un rhozite), dont elles vont ensuite se nourrir la vie durant. En fondant leur nouveau nid elles crachent leur dépôt et le cultivent en employant leurs excréments comme engrais.

Ces jardinières ont des habiletés déconcertantes : ainsi l'*Atta wasmanni* est plus adroite que l'*Atta pilosum* : elle sait faire produire aux mêmes champignons les plus beaux choux-raves en miniature.

(1) H. Von Iehring, ZOOLOGISCHER ANZEIGER, 1898, t. XXI, pp. 238-245.

Jacob Huber (1) par ses observations continues appuyées de fort belles photographies a montré que la femelle se nourrissait de ses propres œufs et déposait ses excréments sur les champignons (2). Qu'y a-t-il d'étonnant alors que non seulement leurs excréments ou leur acide formique (!) serve d'engrais, lorsqu'en certains cas, comme l'a observé Goeldi (3) chez les mêmes *Atta sexdens*, elles emploient comme milieu de culture une véritable purée de leurs premiers œufs broyés ?

Dans le cas de mes reines de *Lasius flavus* je ne puis admettre cette interprétation. J'admettrais volontiers que les *Lasius flavus*, qui vivent cependant presqu'exclusivement de l'élevage de pucerons, varient de temps à autre leur menu en dégustant des champignons. La chose est probable, puisque d'autres fourmis de nos régions, telles les moissonneuses *Messor structor*, mangent des champignons, des agarics et différents mycéliums (4) ; quoiqu'il ne faille pas se hâter de conclure d'une espèce à l'autre ; mais il ne suit pas de là que les miennes aient ensemencé leur nid artificiel et entretenu une champignonnière.

Un examen attentif des nids où séjournèrent deux cents reines ne relève aucun indice de végétation. Les taches noires ou autres de mycélium, qui se remarquent aisément, n'ont jamais paru, ni sur la terre jaune, ni sur le plâtre, ni sur le sable blanc, peu propice à ces cultures. Et cependant, vu le nombre des sujets, le nid aurait été abondamment semé, la culture aurait donc pu se développer avec intensité et d'autant plus que, les reines une fois mortes, rien n'empêchait le mycélium de se reproduire rapidement, n'étant plus mis en

(1) J. Huber, Biologisches Centralblatt, 1905, t. XXV.
(2) Piéron, *Loco citato*.
(3) Goeldi, C. R. du VIe Congrès de Zoologie, 1904, pp. 457-458.
(4) Emery, Revue scientifique, 1900, p. 282.

coupe réglée. M. Emery a constaté en effet qu'« un champignon noir qui végétait dans un nid artificiel n'a pas produit de végétations saillantes tant que les fourmis y étaient ». C'est donc surtout après avoir fait passer les deux groupes de survivantes dans un autre nid que j'aurais dû aisément apercevoir cette culture. Et dans ce second nid comment ne l'aurais-je pas constatée, alors que les fourmis occupaient une superficie de 15 cm² parfaitement blanche ?

Quant à l'hypothèse des œufs broyés et fertilisés, elle est tout aussi improbable. Les reines n'ont pas eu d'œufs avant dix-neuf jours. Qu'ont-elles mangé durant ce temps ? — puis, qu'ont-elles mangé de novembre en avril ?

Pendant la période où il y eut des œufs dans le nid, je les observais minutieusement ; ils étaient lisses et transparents, sans trace de végétation. La plupart de ces œufs devinrent d'ailleurs larves, ce qui prouve qu'ils n'avaient pas servi d'engrais pour la culture.

Enfin voici un dernier argument. S'il y avait eu dans le nid un potager aux riches cultures, pourquoi les neutres, dès qu'elles l'ont pu, ont-elles fait une brèche au rempart et trahi par leurs interminables libations d'eau sucrée, le vide de leur estomac ? *L'hypothèse d'une culture de quelque forme qu'elle soit est à rejeter. Il faut conclure au jeûne rigoureux.* J. Hubert, observateur des *Atta*, a constaté que cette fourmi ne se nourrissait pas du champignon avant quarante jours et ne s'en servait pas pour nourrir les larves, à qui elle donne des œufs comme aliment. Les premières ouvrières qui naissent utilisent le champignon et en nourrissent la reine.

D'ailleurs, les jeunes *Épeires* observées pas Fabre, ne tissent-elles pas à jeun le fil qui capturera leur premier repas ?

Les *Atta* ont leur carême, de quarante jours ; les

Lasius, ascètes plus vigoureuses, le prolongent davantage. La faiblesse, la petitesse des neutres récemment écloses dont il a été question dans les observations précédentes n'en sont elles pas l'indice ! M. De Lannoy (1) dans ses notes sur les mœurs du *Lasius Niger*, proche parente des nôtres, a observé le même fait.

Force nous est donc d'admettre que la reine vit de ses propres réserves intérieures. Forel a cherché une solution de ce côté. « De quoi les larves sont-elles nourries ? se demande-t-il. La femelle nourrit les larves d'une façon ou d'une autre des sucs de son corps. » Une première façon consistera à leur donner des œufs en nourriture : « Je n'ai pas vu les larves dévorer des œufs, mais d'après les observations de Wheler, il est probable qu'elles le font. » Cette réponse ne fait que reculer le problème sans le résoudre ; car, que la reine nourrisse ses larves ou se nourrisse elle-même de ses propres œufs, il faudrait chercher avec quoi se forme l'œuf ? Une autre réponse est suggérée à Forel par la comparaison des fourmis avec les abeilles : « Fischer, Dörrhoff ont montré que le suc que les abeilles dégorgent à leurs larves, se prépare dans la paire dorsale de glandes salivaires de couleur jaunâtre qui est placée sous le vertex, glandes fort développées chez la fourmi. » Il s'agit ici, me semble-t-il, plus d'une transformation de matières venant de l'extérieur, adaptées par les glandes salivaires aux besoins digestifs de la larve, que d'*une véritable transformation intérieure de tissus inutiles en tissus digestibles*. Forel l'a remarqué, car il se contente d'ajouter avec finesse : « L'observation et la dissection finiront par tirer les choses au clair. » Et c'est ce qui est advenu.

Ce tissu de réserve existe-t-il chez la Fourmi ? Les

(1) F. De Lannoy, notes sur les mœurs du *Lasius niger*, ANN. DE LA SOC. ENTOMOL. DE BELGIQUE, T. L., 1906, pp. 45-46.

communications de M. Janet faites à l'Académie des Sciences en témoignent et expliquent parfaitement le comment de cette mystérieuse vitalité.

Il y expose comment, par une véritable métamorphose alimentaire, les fibres des muscles vibrateurs sont remplacées par des colonnettes d'adipocite. L'énorme musculature, le plus lourd et le plus volumineux des organes de la reine, auquel est dû le développement du corselet et du mésonotum, ne reste pas inemployé après le court vol nuptial. L'histolyse (1) commence aussitôt et enrichit considérablement le sang, qui devient extraordinairement abondant en substances albuminoïdes.

Les globules albuminoïdes, de plus en plus nombreux, se forment dans le protoplasme issu du corps adipogène. C'est donc aux dépens de ses propres tissus, que la reine entretient sa vie, produit ses œufs, nourrit ses larves.

Le jeûne de nos reines dura certainement deux mois, du 11 juillet au 16 septembre. A partir du 27 octobre, avec la naissance des ouvrières, le jeûne fut rompu : un de leurs trois enfants était venu, se dressant sur les six pattes, bouche à bouche, les antennes entremêlées, dégorger dans la bouche maternelle sa provende. Les larves se dessèchèrent : mais les œufs, qui n'avaient plus de chances d'éclore, disparurent comme par enchantement. Les reines les ont gobés pour restaurer leurs forces. Mais après ces jours de bombance, après ces repas d'Hugolin ? Elles durent rester de nouveau à jeun jusqu'au 20 mai de l'année suivante, jour où naquirent les ouvrières qui purent les nourrir.

Pendant ce second carême de quoi vécurent-elles ?

(1) M. Janet a suivi toute la transformation des tissus et les a reproduits par photographies prises sur des coupes de *Lasius niger*. COMPTE RENDU DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, t. CXLII, 1906, p. 1096 et t. CXLIV, 1907, p. 393 et p. 1070.

Encore une fois, il nous faut recourir aux réserves thoraciques de M. Janet. Mais ces réserves thoraciques sont-elles donc inépuisables ? En combien de temps se fait cette transformation des tissus ?

Les deux figures comparées et reproduites dans les COMPTE RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, représentent des coupes sagittaires du corselet, faites, la première, le jour même du vol nuptial, la seconde, dix mois plus tard, sur une reine d'une même espèce. La transformation est achevée. L'histolyse commence très peu de temps après le vol nuptial. Elle ne débute pas simultanément et ne marche pas avec la même vitesse dans tous les faisceaux musculaires d'un même individu. On trouve en effet constamment, à côté de quelques faisceaux en apparence intacts, des faisceaux où la dégénérescence est à des degrés d'avancement très divers et même parfois presque complètement terminée. M. Janet estime que l'histogénèse est achevée en quelques semaines. Le tissu adipeux qui remplace les muscles vibrateurs suffirait-il à entretenir la vie durant huit mois, d'octobre à mai ?

C'est là ce qu'il y a de plus vraisemblable. Toutefois cela paraît si extraordinaire, si en dehors de nos conceptions sur l'économie de la vie, qu'il faudra attendre une confirmation. Des observations ultérieures résoudront cette nouvelle énigme et détermineront avec grande précision la durée maximum de jeûne d'une reine de *Lasius flavus*.

On se souvient d'un de nos groupes de reines, un groupe de trois, qui resta sans progéniture et ne fut donc pas sustenté. Ces reines moururent en hiver. Et cependant en voyant décliner mes pauvrettes j'avais ouvert le nid, barbouillé d'eau sucrée la bouche des mourantes. La bouche resta obstinément close. N'y a-t-il pas dans cette détermination à ne rien accepter de l'extérieur une volonté commandée par l'instinct ? Cette

obstination, manifestée également par la claustration voulue, atteste une possession pleine et en soi de toutes les ressources nécessaires à la vie.

Dans ses Dits et Faits mémorables, Valère Maxime (1) admire la noble conduite d'un des sept Sages de la Grèce. Les ennemis faisant irruption dans la jolie ville de Priène, les habitants valides fuyaient, avec, sur leurs épaules, une lourde charge d'objets précieux. Seul, parmi les fuyards, Bias ne portait rien. Sa singularité attire l'attention. On l'interroge, et lui, en bon philosophe dont « la Sagesse est dans le cœur et non sur les épaules », de répondre : *Ego vero bona omnia mea mecum porto*. Cette parole, répétée par Cicéron, est devenue historique. Les hommes ont admiré la sagesse de l'homme. J'ignore ce que pensent les fourmis de cette admiration naïve de l'animal raisonnable : mais il me semble que, lorsqu'elles s'élancent dans les airs, sans ressources, sur des ailes d'un jour, avec des rêves de reines, elles doivent, dans leur ivresse, avoir conscience de réaliser entièrement et parfaitement la devise célèbre : Je porte tout en moi.

R. De Simpel, S. J.

(1) « Valerii Maximi Factorum et Dictorum memorabilium », lib. VII, C. 2, § 3. Edition Teubner.

VARIÉTÉS

I

PROGRÈS RÉCENTS DE LA PHYSIQUE ATOMIQUE

On a cru longtemps que la matière n'était point susceptible de division au delà des atomes, qu'ils étaient ce qu'il y a de plus petit en fait de masse. Les découvertes récentes, spécialement en électricité, montrent qu'il n'en est pas ainsi. L'étude des atomes se complique en général du fait qu'on ne les trouve guère à l'état isolé : ils existent d'ordinaire comme parties intégrantes de molécules ou de particules plus volumineuses et leur action s'efface alors dans celle de l'unité plus complexe qui les englobe ; mais ils y manifestent cependant d'autres activités, que rien ne peut démarquer ; et c'est par là que le physicien peut les saisir individuellement et entrevoir leur structure.

Que sont les atomes ?

Ce sont les réponses faites à cette question au cours des toutes dernières années que nous nous proposons de résumer ici.

Après avoir indiqué comment l'analyse spectrale démontre que la lumière est émise, non par les molécules du corps lumineux, mais par des atomes individuels, nous esquisserons un modèle atomique actuellement en grande faveur ; nous exposerons ensuite quelques phénomènes importants dont ce modèle parvient à rendre compte dans les trois domaines du rayonnement : la lumière, les rayons X et la radioactivité (1).

(1) Les ouvrages consultés principalement pour cette revue sont :

Fabry, *Les atomes lumineux et leurs mouvements*. SCIENTIA, 1915.

L. Bloch, *Quelques récents progrès de la physique* (1914-1918). REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES, 1918.

E. Rutherford, *The constitution of matter and the evolution of the elements*. SMITHSONIAN REPORT, 1915.

I. — MOUVEMENTS DES ATOMES LUMINEUX

Chaque atome émet son genre de lumière à lui. On le concluait depuis longtemps de l'analyse spectrale de ses composés chimiques. Que dans une source lumineuse — flamme de gaz, arc ou étincelle électrique, tube de Geissler — il y ait, par exemple, du sodium, isolé ou combiné à d'autres corps, dans la diversité des spectres, certaines raies se retrouvent, toujours les mêmes (ainsi la double raie jaune D). Inséparables du sodium, elles sont donc ses couleurs propres ; c'est bien de l'atome qu'elles émanent.

Cette conclusion de la spectroscopie comparée a été confirmée récemment grâce aux progrès réalisés dans la décomposition du rayonnement lumineux par diffraction et interférence (1). C'est l'étude des raies spectrales qui a fourni cette confirmation.

Les raies d'un spectre suffisamment dispersé ne sont pas des droites géométriques sans épaisseur. Elles ont une largeur appréciable, qui augmente avec la température du corps lumineux. Depuis longtemps on l'avait remarqué ; aujourd'hui, mesurant l'épaisseur de ces raies on trouve des résultats numériques susceptibles d'interprétation, comme nous allons le dire, grâce à la théorie cinétique des gaz.

Dans les gaz, les molécules circulent isolément, en liberté, sans être enchaînées à leurs voisines par les forces d'attraction moléculaires, comme c'est le cas dans les liquides et les solides. La molécule gazeuse court sans entraves, sauf à se heurter fréquemment à ses compagnes, si bien que son trajet rectiligne moyen entre deux chocs est relativement court. Dans un mélange gazeux, les molécules des gaz les plus lourds vont le

E. Riecke, *Bohrs Theorie der Serienspektren von Wasserstoff und Helium*. PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT, 1915.

K. Fajans, *Das periodische System der Elemente, die radioaktiven Umwandlungen und die Struktur der Atome*. PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT, 1915.

Les travaux de N. Bohr et Moseley, résumés au JOURNAL DE PHYSIQUE, 1914.

L. Graetz, *Die Atomtheorie in ihrer neuesten Entwickelung*. Engelhorns, Stuttgart, 1920.

(1) Les spectroscopes à réseaux séparent encore deux raies correspondant à des longueurs d'onde différant de $2{,}95.10^{-10}$ cm., soit 200 fois moins distantes que les raies jaunes D_1 et D_2 du sodium. La méthode interférentielle permet de discerner deux rayonnements différant de $0{,}7.10^{-10}$ cm. et de comparer les longueurs d'onde de deux radiations à moins d'un dix-millionième de micron près.

plus lentement. Car, en vertu du principe de l'équipartition de l'énergie, la force vive moyenne, $\frac{1}{2}mv^2$, est la même pour les diverses molécules. Les vitesses moyennes, v, de molécules différentes sont donc inversement proportionnelles à la racine carrée de leurs masses, m. D'autre part l'énergie croît proportionnellement à la température du gaz.

On sait qu'en vertu du principe de Doppler-Fizeau, une radiation lumineuse émise, avec une certaine fréquence vibratoire, par une étoile qui se rapproche de nous, est reçue par nos instruments avec une fréquence vibratoire apparente plus grande que sa fréquence propre ; de ce chef, la raie spectrale caractéristique de cette radiation ne conserve pas sa position normale dans le spectre, mais est déplacée vers le violet. Si, au contraire, l'étoile s'éloigne de nous, la raie spectrale est déplacée vers le rouge. Ces déplacements sont d'ailleurs proportionnels à la vitesse radiale de l'étoile, c'est-à-dire, à la composante de sa vitesse dans la direction du rayon lumineux. Ainsi en est-il aussi des radiations émises par les molécules en mouvement d'un gaz luminescent. Dans leurs courses en tous sens, un certain nombre d'entre elles se dirigent vers l'observateur, d'autres s'éloignent de lui, et cela avec des vitesses radiales très différentes. Il s'ensuit que des radiations de fréquence identique émises par diverses molécules d'un gaz se révèlent dans le spectre sous forme de raies, déplacées, les unes vers le violet, les autres vers le rouge ; et cela, de quantités variables d'après la vitesse radiale des molécules qui les émettent. En sorte qu'au lieu de percevoir au spectroscope une raie unique, infiniment déliée, notre œil aperçoit une bande de largeur plus ou moins sensible, formée par la juxtaposition d'un très grand nombre de raies, bande dont la largeur est proportionnelle à la vitesse maxima des molécules gazeuses qui émettent la lumière et croît donc avec la température du gaz. En réalité, une raie spectrale de gaz est une portion de spectre continu ; seul le milieu de la raie répond à la fréquence *réelle* de vibration des particules émettrices ; à droite et à gauche, l'élargissement répond aux fréquences *apparentes* des particules émettrices qui se rapprochent ou s'éloignent du spectroscope (1).

(1) Les vitesses radiales d'étoiles, mesurées couramment en astronomie, s'élèvent à des dizaines de km par seconde ; dans les meilleures conditions de laboratoire, l'interféromètre permet de mesurer des vitesses relatives de quelques mètres.

Si la pression dans le tube où se fait la décharge rendant le gaz luminescent est assez réduite pour que les particules lumineuses ne subissent pas trop de chocs, Lord Rayleigh a établi, pour la largeur δ d'étalement d'une raie de longueur d'onde λ, en fonction de la température absolue θ (1) et de la masse m du gaz, la formule :

$$\delta = 8{,}2 \cdot 10^{-7} \lambda \sqrt{\frac{\theta}{m}}$$

Les vérifications expérimentales se font de manière satisfaisante, à condition qu'on adopte pour valeur de m, *non la masse moléculaire, mais la masse atomique.*

Pour accorder la théorie cinétique avec l'expérience, il faut donc supposer que les particules lumineuses ont une *masse d'atome*. Ainsi en est-il dans les gaz monoatomiques (hélium, néon...), ainsi en est-il aussi dans les gaz ordinaires, diatomiques (hydrogène, oxygène, azote...). C'est que l'atome, comme tel, est émetteur de lumière et qu'il y a des atomes lumineux qui voyagent isolément.

Ceci contredit l'idée qu'on se faisait autrefois d'un corps lumineux, un gaz par exemple. On croyait que chacune de ses molécules émettait de la lumière ; il résulte de ce que nous venons de dire que dans la foule fourmillante des particules qui constituent le gaz incandescent ou luminescent, il y a non seulement des molécules mais aussi des atomes isolés. Ceux-ci sont émetteurs de lumière. Il est possible que des atomes même liés dans les molécules soient également lumineux. Si les molécules comme telles émettent un rayonnement, il semble que ce doive être de l'infra-rouge.

II. — MODÈLES PHYSIQUES DES ATOMES

Lord Kelvin conçut l'atome neutre comme une charge électrique positive sphérique uniforme, à l'intérieur de laquelle circulent des charges négatives élémentaires ou électrons, en nombre suffisant pour neutraliser au dehors l'action électrique de l'ensemble. J. J. Thomson développa l'expression mathématique de cette conception, et montra dans les atomes fictifs de

(1) Qu'il soit légitime de substituer à θ la température ambiante, cela résulte de ce que, lorsqu'on plonge le tube dans l'air liquide, les raies de son spectre se rétrécissent exactement dans les proportions fixées par la formule.

Lord Kelvin, d'après leur nombre d'électrons, des propriétés fort semblables à celles des atomes réels.

Rutherford constata des inconvénients à supposer que l'électricité positive coïncidait avec l'étendue de l'atome. Cela ne se conciliait pas avec certains phénomènes de déviation des rayons corpusculaires émis par les substances radioactives.

En effet, Geiger a observé que lorsqu'un pinceau rectiligne de rayons α tombe sur une mince couche d'or, la grande majorité des corpuscules la traversent, mais en se diffusant dans toutes les directions ; quelques-uns sont même rejetés en arrière. Ces déviations des corpuscules sont produites par les charges positives des atomes d'or de la lame. Or, le calcul montre que ces forces, très intenses, puisqu'elles dévient ainsi des corpuscules doués d'une énergie cinétique considérable, ne peuvent être dues à des charges aussi diffuses que celles de l'atome de Lord Kelvin. Les charges doivent être beaucoup plus concentrées. Aussi Rutherford intervertit-il le rôle des charges de signe contraire dans l'atome : au lieu de distribuer l'électricité positive en une sphère de rayon comparable au rayon d'action de l'atome, il l'imagine condensée en un noyau très restreint, où réside en majeure partie la masse de l'atome. Ce noyau central est entouré d'électrons négatifs qui se répartissent à des distances comparables à ce qu'on appelait communément le rayon de l'atome. D'après Rutherford, il serait donc préférable de parler du rayon de la sphère d'action d'un atome plutôt que du rayon de l'atome lui-même, car le noyau positif et ses satellites sont loin de remplir de leur présence matérielle l'espace d'action des forces intra-atomiques. Il est intéressant de voir quelles dimensions réelles leur assigne la théorie.

Geiger et Marsden étudièrent la proportion des particules α diffusées en diverses directions par leur passage à travers des lamelles d'aluminium, d'argent et d'or. Ils comptaient les scintillations éclatant au choc des particules sur un écran phosphorescent de sulfure de zinc. Ces expériences, traitées par le calcul, assignent au noyau atomique de l'or un rayon inférieur à 3×10^{-12} cm.

L'or est un métal lourd ; le gaz le plus léger est l'hydrogène. Des mesures, faites par Marsden (1), du parcours d'un atome

(1) Marsden employa pour ces mesures l'écran au sulfure de zinc. Debendra put rendre visible la trajectoire des atomes d'hydrogène propulsés dans une

d'hydrogène propulsé par collision d'un corpuscule α, parcours quadruple de celui du corpuscule, montrent que les centres du corpuscule et de l'atome doivent se rapprocher dans le choc à moins de 10^{-13} cm. Le rayon du noyau d'hydrogène doit donc être plus petit encore.

D'ailleurs on peut, conformément à des idées fort en faveur, donner un sens purement électromagnétique à ce coefficient d'inertie qu'on appelle la masse, et dire : la masse du noyau de l'hydrogène est due à l'état de concentration de la charge électrique positive qui le constitue ; c'est une masse tout électromagnétique comme celle de l'électron négatif... Ainsi définie, la masse d'une particule d'électricité serait en raison inverse de son rayon (1). Or, celle du noyau de l'hydrogène vaut environ 2000 fois celle de l'électron ; donc le rayon du noyau serait 2000 fois plus petit que celui de l'électron, soit $1,4 \times 10^{-15}$ cm.

L'atome d'hydrogène, le plus léger de tous et le plus simple de structure, serait constitué par un centre positif de rayon $1,4 \times 10^{-15}$ et par un électron unique gravitant autour de lui à une distance d'environ 10^{-8} cm. Veut-on se le représenter à plus grande échelle? Si l'on suppose la sphère d'action grande comme le globe terrestre, de rayon moyen égal à 6370 km, le noyau positif situé au centre de la Terre aura un rayon de quelque 9 cm seulement : une balle d'enfant. A la distance d'un rayon terrestre gravitera autour de ce centre un électron dont le rayon mesurerait 178 m : une grande basilique.

Les atomes de Rutherford sont donc constitués par un noyau, simple ou complexe, de masse relativement très considérable et de charge résultante positive, entouré d'un nombre variable d'électrons ; telles les planètes autour du soleil.

Nils Bohr, dans le modèle nouveau ou plutôt dans la théorie nouvelle qu'il propose, conserve le même noyau central positif,

enceinte de vapeur d'eau, en employant, comme Wilson, la détente brusque entraînant condensation de la vapeur sur les ions formés par les atomes le ong de leur trajectoire.

(1) $$m = \frac{2}{3} \frac{e^2}{r \cdot c^2}$$

Pour l'électron : $e = 1,4 \cdot 10^{-20}$ U. E. M.
$r = 2,8 \cdot 10^{-13}$ cm.
$c = 3 \cdot 10^{-10}$ cm.

Cf. Schaffers, *Électrons*, p. 36. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, anvier 1903.

minuscule et pesant. Comme Rutherford, il l'entoure du système planétaire des électrons ; mais il fait appel à deux principes nouveaux, pour rendre compte de la stabilité des électrons sur leurs orbites et du rayonnement électromagnétique des atomes. Voici comment.

Si l'on applique les principes de la mécanique à un atome de Rutherford, on ne voit pas comment il pourrait rayonner de la lumière sans que la fréquence des radiations qu'il émet n'augmente d'une façon continue. En effet, en cédant de l'énergie au milieu environnant, ce qui ne peut se faire qu'en perdant de leur vitesse, les électrons devraient se rapprocher progressivement du noyau central qui les attire. Ils ne peuvent donc continuer à se mouvoir sur la même orbite, mais ils doivent décrire des spirales rentrantes avec une vitesse angulaire sans cesse croissante. La fréquence de leur révolution ou leur nombre de tours par seconde irait ainsi en augmentant indéfiniment à mesure qu'ils se rapprocheraient du noyau.

Mais alors, si le rayonnement des atomes d'un gaz luminescent est dû aux révolutions de leurs électrons, de manière qu'à diverses fréquences de révolution correspondent des rayonnements de longueurs d'onde différentes, certains atomes de la masse gazeuse émettront à un moment donné des radiations d'une telle fréquence, d'autres, d'une autre fréquence très voisine de la première, d'autres encore de fréquence plus différente, et ainsi de suite, d'après la distance où ils se trouveront, à ce moment, du centre d'attraction sur leurs trajectoires spiralées. A tout moment donc, l'ensemble des atomes d'une masse gazeuse émettrait à la fois des radiations de toutes les fréquences possibles ; en d'autres termes, le gaz devrait émettre une lumière se résolvant au spectroscope non pas en raies isolées, mais en un spectre continu complet.

Aussi Bohr interprète-t-il tout différemment le phénomène de la radiation. Il applique aux mouvements des électrons périphériques une généralisation, faite par Einstein, de la théorie des quanta de Max Planck. On sait que cette théorie part du principe suivant : un résonnateur électromagnétique — tel un électron en mouvement de va-et-vient périodique autour d'une position d'équilibre — ne peut absorber ou émettre d'énergie que par quantités qui sont des multiples entiers d'une certaine quantité élémentaire d'énergie, appelée *quantum d'énergie*.

De plus, le minimum q d'énergie que puisse émettre ou absorber un résonnateur de fréquence ν, est lié à cette fréquence par

la relation générale $q = h\nu$, où h est une constante universelle, la constante de Planck, dénommée par lui-même *quantum d'action*. Sa valeur est, dans le système C. G. S., $h = 6{,}55 \cdot 10^{-27}$ erg-sec.

Nils Bohr pose alors un premier principe relatif à la *stabilité du mouvement* des électrons atomiques.

Dans tout atome, les orbites circulaires ou elliptiques sur lesquelles circulent les électrons ne sont pas des orbites de dimensions quelconques. Ces dimensions sont déterminées par la théorie des quanta. En vertu de cette théorie, la double force vive d'un électron en giration autour d'un noyau doit être un multiple entier du quantum d'énergie, $q = h\nu$, relatif à sa fréquence (1). A chacun de ces multiples du quantum, correspond une vitesse de circulation déterminée de l'électron, et, par suite, en vertu des lois de la mécanique, une orbite de rayon déterminé (2).

(1) En réalité, c'est l'énergie totale du système atomique, noyau et électron, qui doit être multiple du quantum d'énergie. L'électron et le noyau gravitent tous deux autour de leur centre de gravité. Si l'on désigne par m et M leurs masses respectives, par d leur distance, ils décrivent autour du centre de gravité des orbites de rayons $\frac{dm}{M+m}$, pour le noyau, $\frac{dM}{M+m}$, pour l'électron négatif. M valant environ 2000 fois m, l'orbite décrite par le noyau positif est de rayon très petit ; et l'orbite de l'électron a un rayon très peu différent de d. On ne commet donc qu'une erreur très petite en négligeant la force vive du noyau.

(2) Soit E la charge (UES) du noyau, e, celle de l'électron, d_i le rayon de l'orbite correspondant à une force vive égale à i fois le quantum, m la masse, v_i la vitesse de l'électron.

La condition d'équilibre de la force centrifuge et de l'attraction est :

$$\frac{mv_i^2}{d_i} = \frac{eE}{d_i^2}.$$

D'autre part l'énergie cinétique de l'électron est un multiple entier du quantum relatif à sa fréquence ν_i :

$$mv_i = i\nu_i h \qquad (i = 1, 2, 3...).$$

On a, d'autre part : $$\nu_i = \frac{v_i}{2\pi d_i}.$$

Éliminant v_i et ν_i entre ces trois relations, il vient :

$$d_i = \frac{i^2h^2}{4\pi^2 mEe} \qquad (i = 1, 2, 3...).$$

Ces orbites à un, deux, trois quanta d'énergie sont appelées *orbites stationnaires*.

Dans l'atome d'Hydrogène, qui ne possède qu'un seul électron satellite, cet électron devra se mouvoir sur l'une ou l'autre de ces orbites stationnaires. Dans les atomes des éléments plus lourds, le nombre des électrons qui évoluent autour du noyau est plus grand. Ces électrons pourront se répartir sur diverses orbites ou décrire à plusieurs une même orbite stationnaire.

Le second principe de la théorie de Bohr porte sur l'*émission du rayonnement :* toute émission de rayonnement résulte d'une modification de répartition des électrons atomiques, quand l'un, ou plusieurs d'entre eux, passent d'une orbite stationnaire sur une autre, par exemple sous l'influence d'un choc de particules α ou d'un rayonnement électromagnétique. Le passage a-t-il lieu d'une orbite plus petite à une plus grande, le système acquiert un certain nombre de quanta d'énergie ; la transformation n'a pu se faire que par absorption d'énergie venue de l'extérieur ; si le passage se fait d'une orbite plus grande sur une orbite plus petite, le système perd un nombre entier de quanta, et — point essentiel de la théorie — cette énergie, Q, perdue, de même que toute perturbation d'un champ électromagnétique en général, se propage dans le milieu sous forme de rayonnement, constitue un rayonnement électromagnétique de fréquence ν, déterminée par la relation :

$$h\nu = Q \text{ (1)}.$$

Dans le cas de l'hydrogène, où il n'y a qu'un électron, la charge du noyau sera égale à e, il viendra :

$$d_i = \frac{i^2h^2}{4\pi^2me^2}$$

Les valeurs successives du rayon d_i des orbites seront :

$$d_1 = 0{,}556 \ 10^{-8}\text{cm.} \qquad d_4 = 8{,}896 \ 10^{-8}$$
$$d_2 = 2{,}224 \ 10^{-8} \qquad d_5 = 13{,}90 \ 10^{-8}$$
$$d_3 = 5{,}004 \ 10^{-8} \qquad d_{15} = 125 \ 10^{-8}$$

(1) Il est aisé de calculer l'énergie rendue disponible par la chute d'un électron de l'orbite de rang k à l'orbite de rang i. D'après la note (2), page 386, l'énergie cinétique de l'électron sur l'orbite K est donnée, pour $e = E$ (cas de l'hydrogène), par :

$$W_k = \frac{mv_k^2}{2} = \frac{e^2}{2d_k} = \frac{e^4 4\pi^2 m^4}{2k^2h^2} = \frac{2\pi^2me^4}{k^2h^2}.$$

Telle est la figuration des atomes de Rutherford-Bohr. Nous verrons, dans les paragraphes suivants, comment les conséquences de cette hypothèse sur la constitution des atomes rencontrent les résultats de l'expérience.

III. — LES ATOMES ET LEURS SPECTRES LUMINEUX

Un gaz rendu lumineux, par exemple, au passage du courant électrique dans un tube qui le contient sous pression réduite, présente à l'analyse spectrale un spectre de raies bien déterminées et généralement très compliqué. Pour expliquer l'extrême complexité des spectres lumineux, on ne disposait, dans les anciennes théories, que des mouvements des atomes eux-mêmes, ce qui menait à une impasse. Car comment faire vibrer l'atome unique de l'Hydrogène de douze manières différentes, et l'atome de Fer de plus de deux mille manières, pour représenter leurs raies caractéristiques ?

D'après Bohr, la complexité des spectres lumineux est due, non pas à la complexité de l'atome, mais au grand nombre d'orbites stationnaires variées que peuvent décrire les électrons satellites. Supposons dans un tube de Geissler des atomes d'un gaz. On sait que le courant qui traverse le tube est constitué par des électrons libres qui se déplacent de la cathode vers l'anode. Dans leur course, ces électrons vont heurter les atomes. Ils y causent des perturbations et des dislocations, l'électron libre pouvant même payer de sa liberté celle qu'il procure à un électron satellite et rester capturé dans la sphère d'action d'un noyau atomique. Ces perturbations se résolvent en définitive en

Sur l'orbite d'ordre i, cette énergie est :

$$W_i = \frac{2\pi^2 me^4}{i^2 h^2}.$$

L'énergie perdue, donc rayonnée, lors du passage d'un électron de l'orbite k à l'orbite i sera :

$$W_i - W_k = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}\left(\frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2}\right).$$

Et, si l'on suppose que cette énergie est émise sous forme de vibrations, la période doit satisfaire à l'équation :

$$\nu_{ik} h = W_i - W_k,$$

ou :

$$\nu_{ik} h = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}\left(\frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2}\right).$$

ceci : des électrons, dans l'atome, ont passé d'une orbite stationnaire sur une autre. Les raies spectrales, selon Bohr, proviennent uniquement du rayonnement émis *lors du passage d'un électron d'une orbite stationnaire plus grande sur une orbite plus petite,* passage correspondant à une perte d'énergie pour l'atome.

Parmi les trillions de noyaux et d'électrons qui se bousculent dans un cm^3 d'Hydrogène au sein du tube de Geissler, il y aura constamment des milliers de systèmes atomiques où un électron sera poussé de l'orbite 3 sur l'orbite 2, d'autres milliers où il sera jeté de l'orbite 4, de l'orbite 5, sur la même orbite 2 (nous verrons tantôt pourquoi sur l'orbite 2). Ce sont ces atomes-là, en nombre sans cesse renouvelé, mais ceux-là seuls, qui sont lumineux. Ils émettent les raies $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$... Et voici, de ce fait, une confirmation précieuse.

A température normale et sous pression normale, la distance de deux atomes d'Hydrogène est $33{,}3 \cdot 10^{-8}$ cm. Dans ces conditions, les électrons-planètes ne pourront décrire que les orbites de rayon inférieur à la moitié de cette distance, c'est-à-dire les cinq premières. En réalité le spectre du gaz observé dans ces conditions ne contient que les trois premières raies $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, émises par les atomes où le satellite tombe du cercle 3, 4 ou 5 sur le cercle 2.

Sous la pression réduite des tubes de Geissler, soit environ 1 mm de mercure, la température étant toujours supposée normale, la distance moyenne des atomes est augmentée dans le rapport de $\sqrt[3]{760}$ et est égale à environ 384.10^{-8} cm, c'est-à-dire un peu plus de deux fois le rayon du 15e cercle stationnaire. Or, dans le spectre des tubes de Geissler à Hydrogène, on observe précisément les treize raies correspondant aux sauts du satellite atomique des orbites 3 jusque 15 sur l'orbite 2.

Pour trouver les raies suivantes il faut examiner des masses d'Hydrogène extrêmement raréfié, comme il en existe seulement dans les nébuleuses ; en l'étudiant dans cet état de dispersion, irréalisable dans nos laboratoires, mais réalisé dans celui de la nature, on a pu découvrir toutes les lignes différentes, depuis la treizième jusqu'à la 31e. Dans les nébuleuses, les atomes d'Hydrogène ont une distance moyenne assez grande pour que leurs satellites puissent encore circuler librement sur la 33e orbite. Les rayons des orbites étant proportionnels au carré de leur numéro d'ordre, il existe donc là-haut des atomes d'Hydrogène de rayon 1089 fois plus grand que celui de l'atome où l'électron satellite tourne dans l'orbite la plus rapprochée du noyau. Cette conséquence des conceptions de Bohr est assurément saisissante.

L'interprétation du rayonnement d'après Bohr diffère donc profondément de celle de Rutherford, où c'était le courant alternatif formé par l'électron en giration rapide autour du noyau qui induisait dans l'éther les ondes électromagnétiques. Ce rayonnement-là suppose une déperdition constante d'énergie de l'électron. Cette énergie doit donc lui être exactement restituée à chaque instant par les agents extérieurs, chaleur, bombardement cathodique, etc., sous peine de voir varier sa vitesse et par suite sa période propre de vibration. Mais le mécanisme de ce transfert d'énergie reste totalement inexpliqué, et c'est un point faible dans cette théorie.

Nous avons dit, il y a quelques instants, que le rayonnement de l'Hydrogène était dû à la chute des électrons des orbites 3, 4, 5,... sur l'orbite d'ordre 2. Il nous faut maintenant justifier cette assertion.

Les spectrographistes se sont efforcés de trouver des formules empiriques exprimant la répartition des raies spectrales d'un même gaz.

On appelle en général *séries spectrales* les ensembles de lignes du spectre d'un élément susceptibles d'être comprises dans une même formule de forme générale :

$$\nu = f_1(i) - f_2(k)$$

déterminant les fréquences de vibration ν correspondantes, grâce à la substitution de nombres entiers aux variables i et k, dans les fonctions f_1 et f_2.

C'est ainsi que Balmer trouva qu'un groupe de raies de l'Hydrogène correspondait à des fréquences ν de vibrations, convenablement indiquées par la relation empiriquement établie :

$$\nu = R\left[\frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2}\right]$$

où chaque raie répond à un nombre entier substitué à i et à k dans la formule ; R est une constante.

Les lignes d'une même série offrent le même aspect, toutes bien délimitées, ou toutes estompées du même côté.

Rydberg a découvert que, dans l'établissement des formules des séries spectrales, la constante R, figurant dans la série de Balmer pour l'Hydrogène, joue toujours un rôle remarquable. Cette quantité a reçu les noms de *fréquence fondamentale* ou *constante* de Rydberg.

Or, la théorie de Bohr établit un lien aussi simple qu'inattendu

entre la constante R de Rydberg, la constante h de Planck, la masse m et la charge e de l'électron, notions bien disparates à première vue.

En effet, le lecteur se rappellera (note p. 388) que la théorie de Bohr fournit pour ν_{ik} la valeur :

$$\nu_{ik} = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3}\left(\frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2}\right).$$

La loi déduite de la théorie de Bohr coïncide donc parfaitement avec la loi empirique de Balmer. De plus, la théorie permet le calcul *a priori* de la constante de Rydberg :

$$R = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3}.$$

Cette valeur calculée est de $3{,}20 \,.\, 10^{15}$, au lieu de $3{,}29 \,.\, 10^{15}$, valeur établie par l'expérience. La coïncidence, à 9/100 près, est tout à fait remarquable, étant donné le degré de précision des mesures expérimentales.

Or, les raies $H\alpha$, $H\beta$... de l'Hydrogène font partie de la série de Balmer, si on donne à i, dans la formule, la valeur fixe 2 et si l'on donne à k les valeurs successives 3, 4, ... Le rapprochement de la formule de Balmer et de celle de Bohr permet donc d'affirmer que ces raies sont dues au passage d'électrons de l'orbite 3, 4, ... *à l'orbite 2.*

Le lecteur se demande sans doute si l'on observe aussi les raies correspondant au saut des électrons sur d'autres orbites, par exemple sur l'orbite 1. Les fréquences répondraient aux valeurs

$$R\left(1 - \frac{1}{2^2}\right), R\left(1 - \frac{1}{3^2}\right), \quad R\left(1 - \frac{1}{4^2}\right), R\left(1 - \frac{1}{5^2}\right),$$

et seraient respectivement :

$$2{,}4675 \,.\, 10^{15} \quad 2{,}9244 \,.\, 10^{15} \quad 3{,}0844 \,.\, 10^{15} \quad 3{,}1584 \,.\, 10^{15}$$

Ces raies appartiennent à la région de l'ultraviolet extrême. On ne les a pas encore trouvées. Il est vrai que des radiations d'aussi courte longueur d'onde sont rapidement absorbées par les milieux, fût-ce même par l'air, qu'elles traversent.

Les raies émises par le passage des électrons sur la troisième orbite, de fréquence répondant aux valeurs $\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}$, $\frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2}$,

$\frac{1}{3^2} - \frac{1}{6^2}$, beaucoup moins considérables que les fréquences lumineuses, appartiennent à la région infra-rouge. On a découvert jusqu'à présent les deux premières.

Après l'Hydrogène, l'Hélium est l'élément le plus simple : il est constitué par un noyau à double charge élémentaire positive, et, lorsque l'atome est à l'état neutre, par deux électrons négatifs dont les mouvements de révolution ne peuvent être stables, que s'ils gravitent tous deux sur une même orbite stationnaire, aux extrémités d'un même diamètre. L'atome est chargé positivement quand il a perdu un électron satellite ; dans ces conditions, sa structure ne diffère pas de celle de l'atome neutre d'Hydrogène. La fréquence des vibrations qu'émet un tel atome d'Hélium chargé positivement, au moment où son électron satellite unique passe d'une orbite extérieure d'ordre k, sur une orbite intérieure d'ordre i, est donnée par la formule :

$$\nu_{ik} = 4\,R\left(\frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2}\right)$$

le facteur 4 répondant à la charge positive du noyau, double de celle de l'Hydrogène.

Les séries correspondant à $i = 3$ et $i = 4$, pour les diverses valeurs croissantes de k, étaient connues dans certains spectres d'étoiles ; on les attribuait par erreur à l'Hydrogène. La théorie de Bohr les assigne à l'Hélium; Fowler et Evans ont démontré, pour la série $i = 3$, qu'il en était réellement ainsi.

Les séries spectrales principales de l'Hélium n'ont pas encore pu être déduites avec certitude de la théorie de Bohr.

Les éléments plus lourds à structure plus complexe donnent des spectres moins déchiffrables. Les explications théoriques proposées diffèrent entre elles et sont plus incertaines. Ces radiations sont d'ailleurs dues à des déplacements d'électrons sur des orbites stationnaires de rang assez élevé.

De même, la modification d'aspect des lignes spectrales d'un gaz placé dans un champ magnétique ou dans un champ électrique, c'est-à-dire les phénomènes appelés effet Zeeman et effet Stark, font l'objet de la part de savants comme Bohr, Sommerfeld, Debye, d'interprétations variées s'appuyant sur les principes de Bohr.

Jusqu'à présent il n'a été question que des radiations qu'analysent les méthodes ordinaires de la spectroscopie. Les rayons X ont ouvert à l'exploration des radiations un champ plus étendu

et qui permet l'étude de rayonnements intéressant les orbites les plus rapprochées du noyau (1).

IV. — LES ATOMES ET LEURS SPECTRES DE HAUTE FRÉQUENCE

Les métaux, et en général les corps solides, soumis à des rayons cathodiques ou à un rayonnement primaire de Roentgen, émettent, en même temps qu'un spectre continu de rayons Roentgen, des séries de raies plus intenses, de haute fréquence, appelées caractéristiques, et qui se groupent en séries distinctes désignées sous le nom de séries K, L et M dans l'ordre des fréquences décroissantes (1). La série K est formée de deux raies α et β. La série L se compose de cinq raies principales α, β, γ, δ, ϵ, dans l'ordre des longueurs d'onde décroissantes.

Moseley étudia la série K de tous les éléments de la classification périodique, depuis l'Aluminium jusqu'à l'Or, et la série L des éléments depuis le Zirconium jusqu'à l'Or.

Il a trouvé pour les fréquences ν de la raie α dans les séries K et L, en désignant par R la constante de Rydberg, les formules suivantes :

$$\nu = R\,(N-1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) \text{ (série K)},$$

$$\nu = R\,(N-7)^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) \text{ (série L)},$$

où N représente le rang de l'élément dans la classification périodique. L'accord avec les valeurs observées est très satisfaisant. Il l'est moins pour les éléments du rang le plus élevé, surtout en ce qui regarde la série L.

Ces formules s'interprètent aisément d'après la théorie de Rutherford-Bohr. Elles ne diffèrent de la formule de la fréquence des raies de l'Hydrogène (p. 390) que par l'introduction des parenthèses contenant N. D'après Rutherford, le rang N d'un élément dans la classification périodique est égal, en général, à la moitié de son poids atomique, ou plus exactement, comme on le verra plus loin, au nombre d'électrons qui gravitent autour du noyau dans un atome neutre.

Or, supposons que parmi ces N électrons, p tournent sur une

(1) Voir De Smedt, Revue des Questions scientifiques, avril 1920, p. 396.

même orbite stationnaire. La condition d'équilibre dynamique d'un de ces électrons est l'égalité entre la force centrifuge et la force centripète résultant à la fois de l'attraction des charges électriques positives du noyau et de la répulsion des $p - 1$ autres électrons de l'orbite. Il en résulte que la fréquence des vibrations émises lors du passage des p électrons de l'orbite k sur l'orbite i, non occupée encore par d'autres électrons, est donnée par la formule :

$$\nu_{ik} = R\,(N - c_p)^2 \left(\frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2}\right),$$

en désignant par c_p un terme correctif correspondant à la répulsion.

Le calcul assigne au terme correctif c_p les valeurs suivantes d'après celles de p :

$$c_2 = 0{,}25\,; \quad c_3 = 0{,}58\,; \quad c_4 = 0{,}96\,; \quad c_5 = 1{,}38\,;$$
$$c_{10} = 3{,}86\,; \quad c_{15} = 6{,}76.$$

La raie K_α, qui répond à la valeur $c_p = 1$, se rapporte donc au rétrécissement d'une orbite à 4 électrons du rang 2 au rang 1 (1).

Indépendamment de leur interprétation dans la théorie de Bohr, les formules de Moseley ont l'utilité de mettre une fois de plus en évidence le rôle de la constante R de Rydberg ; en montrant la relation qui lie les raies de haute fréquence au rang des éléments dans la classification périodique, plutôt qu'à leurs poids atomiques, elles ont apporté une éclatante confirmation aux idées émises par Rutherford sur la constitution du noyau.

V. — LE NOYAU DES ATOMES ; DÉSAGRÉGATION NUCLÉAIRE ET SYSTÈME PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

Les conceptions hardies de Soddy et de Rutherford (2), expliquant la radioactivité par la désagrégation explosive du noyau

(1) Il est juste de remarquer que Debye explique autrement la production de la raie K_α. A l'état stable, les atomes de tous les éléments à partir du Sodium porteraient 3 électrons sur l'orbite 1. Si l'un de ces 3 électrons avait été rejeté sur l'orbite 2 ou même 3, au moment où l'atome redevient stable par le retour de cet électron de l'orbite 2 sur l'orbite intérieure, il y a rayonnement K_α. Le rayonnement K_β serait dû au retour de l'électron sur l'orbite 2 à partir de l'orbite 3.

Développant les vues de Debye, Kroo a proposé que chez tous les éléments à partir du Sodium la seconde orbite à l'état stable porte 8 électrons.

(2) Cf. Schaffers, REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, juillet 1905, p. 4.0

des atomes, trouvent des confirmations de plus en plus nombreuses. La radioactivité est l'émission par certaines substances de corpuscules électriques positifs, appelés rayons α, d'électrons négatifs, les rayons β, de vibrations électromagnétiques de haute fréquence, nommés rayons γ. Les corpuscules α, énergiques, mais lourds et peu pénétrants, ont une masse que Rutherford et Robinson ont démontré, par les méthodes de déviations électrique et magnétique, être celle de l'Hélium, poids atomique 4. Recueillis sous forme de gaz et étudiés au spectroscope par Ramsay et Soddy, ils avaient donné le même spectre que l'Hélium. Chacun des corpuscules α porte une double charge électronique positive.

Les corpuscules β sont des électrons, mais projetés avec des vitesses bien supérieures à celles des rayons cathodiques (1), voisines de la vitesse de la lumière.

Les rayons γ ne sont pas corpusculaires, mais ondulatoires, de même nature que les rayons Roentgen, de fréquence et de pouvoir pénétrant généralement beaucoup plus considérables (2). Ils sont liés aux rayonnements β assez intenses.

Rutherford, dans sa théorie, identifie le corpuscule α avec le noyau de l'Hélium. Au moment de l'explosion de l'atome radioactif, l'Hélium qui entre dans sa composition est expulsé, mais il sort dépouillé de ses deux satellites électroniques ; il ne s'accroche deux nouveaux électrons, pour redevenir atome neutre, qu'après avoir perdu assez de force vive en ionisant le milieu environnant.

Le noyau de l'Hélium posséderait donc deux charges électriques positives élémentaires, nombre égal à la moitié de son poids atomique.

Les noyaux des atomes lourds des métaux contiendraient de même un nombre de charges positives égal à la moitié du poids atomique. Rutherford crut le reconnaître en étudiant la déviation par ces atomes des rayons α, dans les lames métalliques minces, d'après les mesures de Geiger et Marsden. Il étendit même cette hypothèse à tous les éléments.

Bohr et Van den Broeck corrigèrent l'énoncé de Rutherford.

(1) Rayons non homogènes de $RaB + RaC$: $V = 0{,}36\ C$ à $0{,}98\ C$, où $C = 3.10^{10}$ cm (CONSTANTES PHYSIQUES, 1913).

(2) Rutherford a trouvé dans le spectre γ du radium C la plus courte longueur d'onde connue jusqu'à présent :

$$0{,}071 \times 10^{-8} \text{ cm, soit } 0{,}071 \text{ angströms.}$$

TABLE PÉRIODIQUE

	Groupe 0	Groupe VIII	Groupe I	Groupe II
Hydrogène **1** H 1,008	Hélium **2** He 4,00		Lithium **3** Li 6,94	Béryllium **4** Be 9,1
	Néon **10** Ne 20,2		Sodium **11** Na 23,00	Magnésium **12** Mg 24,32
	Argon **18** A 39,88		Potassium **19** K 39,10	Calcium **20** Ca 40,07
		Fer **26** Fe 55,84 Cobalt **27** Co 58,97 Nickel **28** Ni 58,68	Cuivre **29** Cu 63,57	Zinc **30** Zn 65,37
	Krypton **36** Kr 82,92		Rubidium **37** Rb 85,45	Strontium **38** Sr 87,63
		Ruthénium **44** Ru 101,7 Rhodium **45** Rh 109,9 Palladium **46** Pd 106,7	Argent **47** Ag 107,88	Cadmium **48** Cd 112,40
	Xénon **54** Xe 130,2		Cœsium **55** Cs 132,81	Baryum **56** Ba 137,37
		61—	Samarium **62** Sa 150,4 Europium **63** Eu 152,0	Gadolinium **64** Gd 157,3
		Thulium **69** Tm 168,5	Ytterbium **70** Yb 173,5	Lutécium **71** Lu 175,0
		Osmium **76** Os 190,9 Iridium **77** Ir 193,1 Platine **78** Pt 195,2	Or **79** Au 197,2	Mercure **80** Hg 200,6
	Émanation du Radium (Niton) **86** Em 222,4 (Nt)		**87**—	Radium **88** Ra 226,0

DES ÉLÉMENTS (1917)

Groupe III	Groupe IV	Groupe V	Groupe VI	Groupe VII
Bore **5** B 11,0	Carbone **6** C 12,005	Azote **7** N 14,01	Oxygène **8** O 16,00	Fluor **9** F 19,0
Aluminium **13** Al 27,1	Silicium **14** Si 28,3	Phosphore **15** P 31,04	Soufre **16** S 32,06	Chlore **17** Cl 35,46
Scandium **21** Sc 44,1	Titane **22** Ti 48,1	Vanadium **23** V 51,0	Chrome **24** Cr 52,0	Manganèse **25** Mn 54,93
Gallium **31** Ga 69,9	Germanium **32** Ge 72,5	Arsenic **33** As 74,96	Sélénium **34** Se 79,2	Brome **35** Br 79,92
Yttrium **39** Y 88,7	Zirconium **40** Zr 90.6	Niobium **41** Nb 93,5	Molybdène **42** Mo 96,0	**43** —
Indium **49** In 114,8	Étain **50** En 118,7	Antimoine **51** Sb 120,2	Tellure **52** Te 127,5	Iode **53** I 126,92
Lanthane **57** La 139,0	Cérium **58** Ce 140,25	Praséodyme **59** Pr 140,9	Néodyme **60** Nd 144,3	
Terbium **65** Tb 159,2	Dysprosium **66** Dy 162,5	Holmium **67** Ho 163,5	Erbium **68** Er 167,7	
72—		Tantale **73** Ta 181,5	Tungstène **74** W 184,0	**75** —
Thallium **81** Tl 204,0	Plomb **82** Pb 207,20	Bismuth **83** Bi 208,0	Polonium **84** Po (210,0)	**85** —
Actinium **89** Ac (227)	Thorium **90** Th 232,4	Uranium **91** X_2	Uranium **92** U 238,2	

Selon eux la charge positive nucléaire des atomes est exprimée par leur numéro d'ordre dans le tableau périodique des éléments. Ce numéro d'ordre est appelé *nombre atomique*.

Les recherches de Moseley sur les spectres de haute fréquence, complétées par Siegbahn, sont venues confirmer pleinement l'énoncé de Bohr et Van den Broeck.

Pour le comprendre, il est nécessaire de connaître les changements récemment introduits dans la systématisation des éléments. Après avoir classé les éléments d'après les conceptions nouvelles, nous reviendrons aux noyaux atomiques ; il sera aisé de saisir alors leur constitution, d'après Rutherford.

On sait que, depuis Mendeleeff, on range les corps chimiques simples dans un tableau montrant le retour périodique de leurs propriétés physiques et chimiques en fonction de leurs poids atomiques croissants (1). L'ordre des groupes, numérotés depuis 0 jusque VIII, indique, par exemple, la valence des éléments de chaque groupe.

Les éléments connus avant la découverte de la radioactivité se rangeaient assez aisément suivant les poids atomiques croissants. Certaines cases du tableau, laissées libres d'abord, furent remplies par des découvertes ultérieures. Toutefois, sans parler de l'ensemble des « terres rares », encore revêche à l'heure actuelle au classement périodique, on y constatait des inversions. Ainsi le Cobalt, qui, en vertu de ses propriétés chimiques, devait précéder le Nickel, possède un poids atomique plus élevé. De même le Tellure, apparenté au Soufre, devait se ranger dans le groupe VI avant l'Iode, moins pesant, mais est classé dans le groupe VII, parce que homologue au Chlore.

Les déductions tirées par Moseley des spectres de haute fréquence modifièrent le principe même de la classification périodique naturelle des éléments. Cet ordre nouveau s'écarte partiellement de l'ordre de Mendeleeff (2). *(Voir table, pp. 396-397)*.

(1) Cf. Tillieux, Revue Quest. scient., juillet 1920, p. 53.

(2) Les recherches du même savant permirent de limiter à quatre le nombre de cases actuellement inoccupées dans la classification, entre l'Aluminium et l'Or. Cf. table.

Les spectres de haute fréquence sont beaucoup moins complexes et plus réguliers que les spectres lumineux. L'altération qu'ils subissent d'un élément à l'autre est progressive. Ils fournissent donc un moyen d'identification plus clair.

Si les terres rares, vu les similitudes de leurs caractères, ne se laissent pas

L'étude de la radioactivité fit reconnaître aussi qu'un élément ne se classe pas dans le système périodique par le seul fait de son poids atomique. On découvrit, en effet, entre le Thallium, poids 204, et l'Uranium, élément le plus lourd, poids 239, 36 corps simples radioactifs nouveaux, trop pour le nombre de cases disponibles dans le tableau de Mendeleeff. Indépendamment l'un de l'autre, Soddy et Fajans montrèrent qu'il fallait loger dans un même casier plusieurs éléments « *isotopes* » (Soddy) aux mêmes propriétés physiques et chimiques, formant une « *pléiade* » (Fajans) marquée du même *nombre atomique* (1). Les corps isotopes d'une même pléiade ont généralement des poids atomiques différents ; ils sont alors *hétérobares*. Ils peuvent avoir le même poids atomique, être *isobares*. Ils se distinguent avant tout l'un de l'autre par leur radioactivité.

Une démonstration de l'existence de corps isotopes préparés séparément et de poids atomiques déterminés à l'état isolé, consiste à les mélanger et à prouver qu'ils sont inséparables par l'application des propriétés chimiques et physiques indépendantes de la masse. On ne peut les distinguer ni à l'analyse spectrale ordinaire, ni par celle des rayons X, ni par précipitation ou distillation fractionnée, qui trahirait des solubilités ou des volatilités différentes, ni par cristallisation fractionnée, qui révélerait diverses structures cristallines, ni par électrolyse, accusant différents potentiels électrochimiques, ni par des mesures de susceptibilité magnétique, ni par l'essai des affinités chimiques (2).

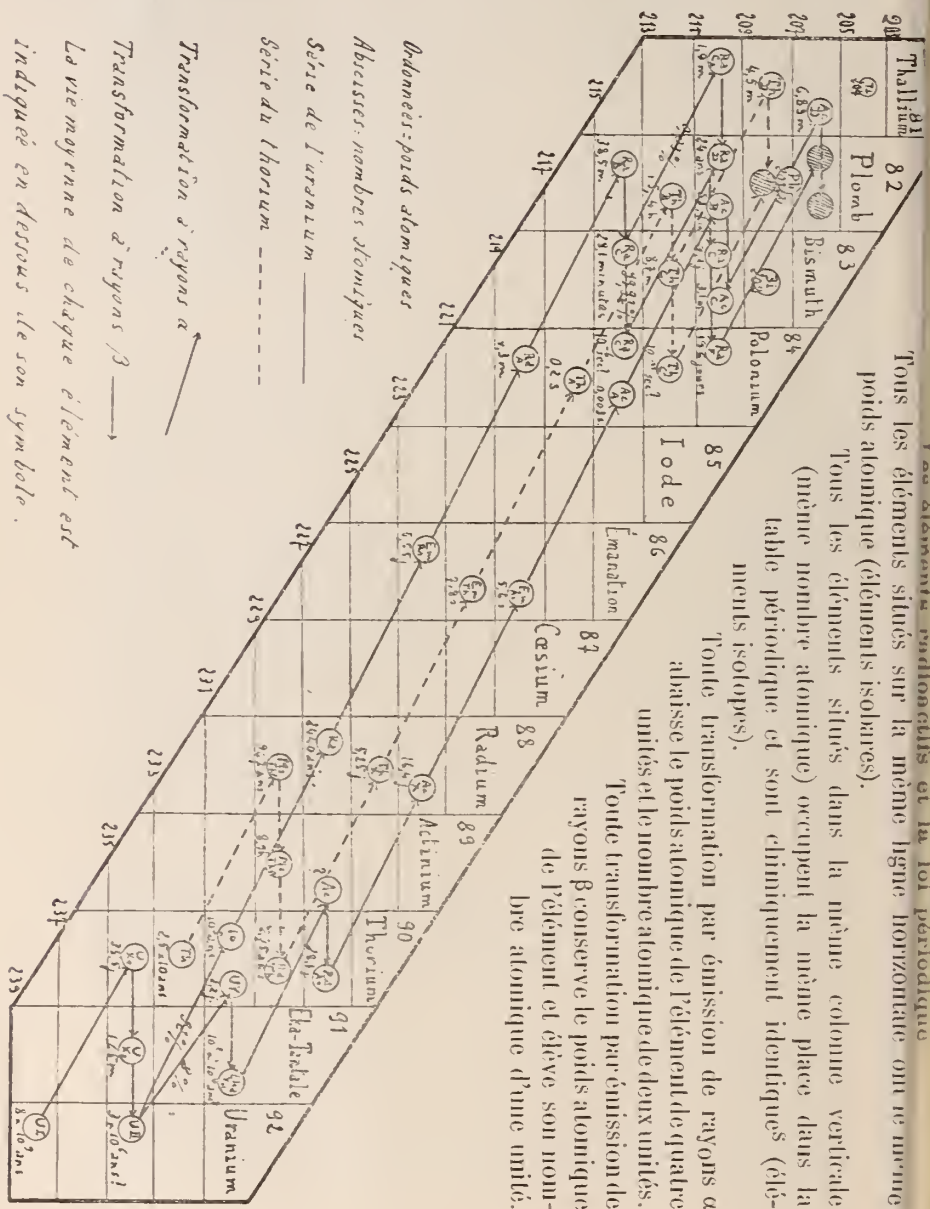
A partir des éléments souches des deux familles radioactives, l'Uranium I et le Thorium, les corps radioactifs se distribuent, dans le système périodique nouveau, conformément aux *lois de*

répartir dans les différents groupes chimiques, il faut pourtant, en vertu de leurs séries spectrales L, leur assigner des numéros d'ordre croissant avec leurs poids atomiques; deux places restant encore vacantes. Cf. table, pp. 396. 397.

(1) W. Ramsay déjà avait reconnu des éléments *allotropes*, de poids atomiques identiques, mais à propriétés très différentes. Il les plaçait dans une même case. Aujourd'hui, on leur assigne des cases différentes, malgré l'égalité de leurs poids.

(2) Des corps isotopes hétérobares ne diffèrent que par leurs poids atomiques et par les propriétés découlant de la masse, la diffusion à l'état gazeux, par exemple. C'est grâce à leur différence de vitesse de diffusion que Aston a pu séparer et déterminer la masse atomique, 20 et 22, de deux Néons isotopes. J. J. Thompson avait soupçonné leur existence dans un tube à Néon raréfié, grâce à la méthode de déviation électrique et magnétique du courant de décharge.

D'après une figure publiée par le JOURNAL OF THE CHEMICAL SOCIETY, janvier 19
Le Radium. Fr. Soddy. Interprétation et enseignement de la radioactivité. Trad. A. Lepa
Paris, Alcan, 1920, p. 321.



déplacement formulées par Mr Curie, Soddy, von Hevesy, Russell et Fajans : *Par l'émission d'un rayonnement α un élément recule de deux rangs dans l'ordre des nombres atomiques,* c'est-à-dire que son nombre atomique est diminué de 2 unités ; *par l'émission des rayons* β (on admet d'ailleurs que les transformations dites sans rayonnement se font en réalité par rayons β très moux) *un élément avance d'un rang,* c'est-à-dire que son nombre atomique est augmenté d'une unité. Le tableau II (pag. 400) donne la répartition des corps radioactifs, d'après le Journal of the Chemical Society, janvier 1919.

Pour expliquer ces lois de déplacement, Rutherford est amené à regarder le noyau des éléments lourds comme composé de charges positives et de charges négatives ou *électrons nucléaires* de liaison. Soit l'Uranium II, poids atomique : 235, troisième dérivé de l'Uranium et son isotope, charge positive nucléaire : 92 (1). Le noyau se désagrège en perdant un corpuscule α, soit 4 unités en poids et 2 unités en charge électrique positive, et donne naissance à deux éléments isobares et isotopes, charge nucléaire : 90, appartenant donc à la pléiade du Thorium ; ce sont, d'une part, 8 % d'Uranium Y, qui par désagrégations ultérieures produit, par l'intermédiaire de l'Eka-Tantale, la lignée, indépendante autrefois, de l'Actinium ; d'autre part, 92 % d'Ionium. Celui-ci rejetant de son centre une nouvelle particule α engendre le Radium ; celui-ci, par le même processus produit l'émanation de Radium ; celle-ci fournit de même le Radium A qui à son tour, toujours en expulsant une particule α, devient le Radium B, poids atomique : 215, nombre atomique : 82, donc isotope du Plomb. Le Radium B, en perdant un électron nucléaire par rayonnement β, acquiert une charge positive nucléaire supérieure d'une unité et devient le Radium C, poids atomique : 215, mais nombre atomique : 83, isotope du Bismuth. Le Radium C est susceptible de deux rayonnements ; en émettant un corpuscule α, son noyau perd deux charges positives élémentaires : il naît du Radium C_2 ; par l'émission d'un électron β, ce même noyau gagne un élément de charge positive : il naît du Radium C'. Le Radium C_2, par rayonnement β, et le Radium C', par rayons α, engendrent le Radium D, isotope du Plomb, comme son bisaïeul le Radium B. Par la perte successive de deux électrons nucléaires le Radium D produit le Radium E, isotope du Bismuth comme le Radium C, puis le Radium F, identifié avec le Polonium ;

(1) Cfr. le tableau des éléments radioactifs.

nombre atomique : 84. La perte d'un corpuscule α transforme le Radium F en Radium G, isotope du Plomb. Le Plomb est une pléiade comprenant, outre le Plomb ordinaire, les aboutissants de toutes les séries radioactives. Le Plomb ordinaire, poids atomique : 207,2, est un mélange des Plombs isotopes, dérivés ultimes de trois séries, celles du Thorium, du Radium et de l'Actinium.

Le tableau I (pages 396-397) indique la classification périodique des éléments actuellement connus, d'après le tableau de Fajans (1), les poids atomiques sont ceux qu'adopta la Commission internationale en 1917 (2). Les seules cases marquées d'un trait répondent encore à des corps inconnus. Quand à un nombre atomique ne correspondent que des isotopes tous radioactifs, celui d'entre eux qui a la plus grande longévité (3), donne son nom à la pléiade (4), sauf dans le cas de l'Ionium, isotope du Thorium et plus durable que lui.

Revenons à la théorie de Rutherford. D'après lui, le nombre atomique, qui détermine la nature des éléments au point de vue de toutes les propriétés physiques et chimiques indépendantes de la masse, serait le nombre d'électrons auquel équivaut la charge positive du noyau. Rutherford identifie d'ailleurs le noyau d'Hydrogène avec le corps positif élémentaire, ou électron positif. Dans tous les autres corps la charge positive du noyau n'est qu'une charge résultante, due à la combinaison d'électrons positifs et d'électrons négatifs en nombre inégal. Le noyau d'Hélium, de masse quadruple et de charge résultante double, comprendrait quatre noyaux d'Hydrogène et deux électrons; le noyau de Lithium, poids atomique 7, nombre atomique 3, serait formé de 7 corps positifs et 4 électrons, charge positive résultante : 3; et ainsi de suite...

Les rayons α des corps radioactifs étant des noyaux d'Hélium, il est naturel d'admettre que les noyaux de ces corps sont composés de noyaux d'Hélium. Le fait que bon nombre de poids atomiques sont divisibles par 4, rend plausible cette hypothèse.

(1) Physikalische Zeitschrift, 1915, p. 467.

(2) Annuaire du bureau des longitudes pour 1920, p. 657, 658.

(3) On appelle vie moyenne d'un corps radioactif, par rapport à un rayonnement en particulier, le quotient par log 2 du temps nécessaire pour qu'il se transforme par moitié en émettant ce rayonnement.

(4) Grâce à cette convention l'ordre des nombres atomiques coïncide avec l'ordre croissant des poids atomiques.

Les noyaux des éléments de poids non multiples de 4 se composeraient de noyaux d'Hélium et d'Hydrogène. Les fractions de poids atomiques seraient dues, d'après Lorentz, à ce que, tout entière électro-magnétique, la masse résultant de la composition étroite de plusieurs charges électriques élémentaires positives et négatives est moins considérable que la masse correspondant à leur somme algébrique. Ainsi serait établie l'hypothèse de Prout : tous les éléments chimiques se composent des mêmes particules absolument dernières, répondant seules à la définition étymologique de l'atome : l'électron, et le noyau d'Hydrogène ou électron *positif*.

A l'appui de son pressentiment de la présence d'Hydrogène dans le noyau de certains atomes, Rutherford peut apporter ses expériences sur des corpuscules positifs plus légers que l'Hélium des rayons α, observés par Marsden et ensuite par lui-même dans l'étude de la radioactivité du radium C. Ces corpuscules provoquaient des centres de scintillation sur un écran de sulfure de zinc jusqu'à 30 cm. du corps émetteur. Ce ne pouvaient être les rayons α d'Hélium qui sont neutralisés à 3 ou tout au plus à 7 cm. de leur source. Soumis aux mesures de déviation par un champ magnétique et par un champ électrique, ils accusèrent la même masse que l'Hydrogène et une seule charge élémentaire positive. Ils étaient dus sans doute à l'explosion de molécules d'eau sous l'action des rayons α.

Or en provoquant, par le rayonnement du Radium C, l'ionisation d'une masse d'Azote, Rutherford put établir qu'il se produit de pareils corpuscules positifs d'Hydrogène. Leur nombre ne peut s'expliquer que par la dissociation du noyau même de l'Azote : celui-ci perd des noyaux d'Hydrogène entrant dans sa composition. Le poids atomique, 14, de l'Azote indique d'ailleurs qu'il doit comprendre autre chose que des noyaux d'Hélium de poids atomique 4.

Comment se disposent, dans le noyau composé, les noyaux d'Hélium, ceux d'Hydrogène et les électrons nucléaires ? Cette disposition ne fait encore l'objet que de conjectures.

Haas (1) a proposé pour le noyau atomique un modèle analogue à celui de J. J. Thompson pour l'atome complet. Il intervertit seulement le rôle de l'électricité positive et de l'électricité négative. Le noyau serait une charge négative homogène très

(1) Physikalische Zeitschrift, 1917, pp 400-402.

petite, à l'intérieur de laquelle les charges positives élémentaires, beaucoup plus minuscules encore, seraient disposées symétriquement. Mais les corps positifs resteraient immobiles, contrairement aux électrons de J. J. Thompson qui gravitaient à l'intérieur de la sphère atomique positive. Ainsi le noyau d'Hélium serait un tétraèdre positif enveloppé d'une sphère négative.

VI. — CONCLUSION

L'atome de Rutherford-Bohr est composé de corps positifs élémentaires et d'électrons. Une partie des électrons, les nucléaires, constituent, avec tous les corps positifs, le noyau. Celui-ci détermine d'une manière plus ou moins directe toutes les propriétés de l'atome. Comme il renferme les corps positifs, beaucoup plus massifs que les électrons, c'est de lui que dépendent directement et presque exclusivement les propriétés dues à la masse, tels le poids atomique, la densité, la chaleur spécifique, la vitesse de diffusion à l'état gazeux, etc.

D'après leur composition, les noyaux positifs sont plus ou moins stables ; de là les différents genres de radioactivité des substances.

La charge nucléaire est la même dans les isotopes d'une même pléiade et elle est exprimée par le nombre atomique. C'est aussi le nombre des électrons annulaires qui neutralisent l'action électrique de l'atome à l'extérieur. La charge nucléaire régit la plupart des propriétés physiques et chimiques.

Des modifications d'orbites ou de répartitions dans les orbites causent l'émission, ou l'absorption, de rayonnements électromagnétiques : rayons X de très haute fréquence, quand il s'agit des orbites intérieures, lumière ou rayons infra-rouges, quand il s'agit des orbites extérieures.

Le retour périodique des qualités semblables caractérisant les groupes chimiques s'expliquerait, d'après Végard, par la composition uniforme de l'orbite extérieure de tous les éléments d'un même groupe, cette orbite comprenant autant d'électrons que l'indique le rang du groupe ; la composition des orbites intérieures variant seule d'un élément à l'autre dans le groupe.

La valence chimique serait due à la facilité plus ou moins grande avec laquelle la superficie de l'atome perdrait ou s'incorporerait des électrons dans l'orbite extérieure. Les atomes se grouperaient en molécules par la coïncidence de leurs orbites extérieures.

La parenté chimique observée dans la série des terres rares serait due à ce que leur anneau extérieur est composé du même nombre d'électrons ; ce nombre ne variant que dans les couches intérieures.

Ce modèle atomique est assurément fort simple. Né de la synthèse de lois expérimentales assez disparates, il a inspiré des recherches fructueuses et conduit à de précieuses découvertes. On ne peut douter qu'en gros tout au moins, il ne réponde à la réalité phénoménale. La distinction capitale entre le noyau atomique positif et les électrons annulaires semble établie. La notion du nombre atomique se substitue dans la classification à celle du poids atomique ; elle se concrétise : les propriétés des éléments sont fonction périodique de leur charge nucléaire.

Sans doute les problèmes se multiplient : composition du noyau, instabilité se trahissant dans la radioactivité, répartition des électrons annulaires, spectres d'absorption et spectres de bandes, valences multiples d'un même élément, propriétés magnétiques, etc. Mais ces problèmes gagnent en précision par le fait qu'on les pose dans les termes créés par les théories nouvelles.

Un grand « pourquoi ? » provoqué par la théorie des quanta, plus encore que par la mécanique classique, renferme peut-être tous ces « comment ? » : pourquoi tel état des constituants ultimes des atomes est-il un état stable, pourquoi tel autre entraîne-t-il des échanges d'énergie rayonnante ?

H. Dopp, S. J.

II

ARAIGNÉES ET PALUDISME

Le paludisme est la plus répandue et la plus redoutable des endémies. Les zones fébrigènes, assez restreintes en France et dans une grande partie de l'Europe, prennent dans les régions intertropicales une immense extension. — A Madagascar en particulier, l'endémie palustre a une gravité exceptionnelle (1).

(1) Cfr. *Traité du Paludisme*, par A. Laveran, membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine. — Paris, Masson et Cie.

La grande île africaine a été parfois appelée l'« Ile de la fièvre » ou le « Royaume de la fièvre » : et les rois et reines qui se succédèrent sur le trône de Tananarive, comptaient surtout, pour la défense de leur capitale contre les invasions étrangères, sur deux puissants généraux : le général « Tazo » (fièvre) et le général « Hazo » (forêt).

Cependant, jusque vers la fin du siècle dernier, l'endémie palustre était assez bénigne sur les hauteurs centrales de l'Imerina. Ce fut en 1905 que le paludisme, en progression lente tout d'abord autour de Tananarive durant les années précédentes, fit un bond énorme et tel que la mortalité qui, d'après la statistique officielle de la Capitale et les données du Dr Fontoynont, Directeur de l'École de Médecine de Tananarive, avait été de 48 décès en 1900, de 77 en 1901, de 104 en 1902, de 138 en 1913, de 277 en 1914, fut, durant l'année 1915, de 686. Ce chiffre fut encore de beaucoup dépassé en 1916.

Au sujet de cette épidémie de paludisme, le Dr Fontoynont, dans une note publiée par la Revue de Médecine et d'Hygiène tropicales, exposa les causes qui lui semblaient avoir pu provoquer les dites épidémies. Il en signala deux en particulier : « D'abord les déplacements considérables de gens qui, partis de leur pays, durent émigrer vers les régions malsaines de la côte. Ils s'y impaludèrent, et une fois revenus dans leurs foyers, ils transmirent, par l'intermédiaire des moustiques, leurs hématozoaires aux habitants restés sédentaires ». — Le Dr Bouet dans un article sur la doctrine anophélienne en Émyrne, étude publiée dans les Annales d'Hygiène et de Médecine coloniales, a partagé l'opinion du Dr Fontoynont ; opinion partagée aussi par le professeur Laveran qui, dans son magistral *Traité du Paludisme*, dit « qu'à Madagascar, la recrudescence du paludisme et son extension sur le plateau central, autrefois indemne, s'explique bien par la contagion. Les indigènes employés aux grands travaux de routes et de chemins de fer, exécutés souvent dans des régions insalubres, se sont infectés, et ils ont rapporté dans leurs villages des germes de paludisme ; et comme les anophèles abondent partout à Madagascar, la maladie s'est rapidement propagée, même dans des régions réputées autrefois salubres ».

Une seconde cause puissante de dissémination des germes aurait été les « Gardes de nuit ». Dans tous les villages, chaque nuit, un certain nombre d'hommes valides, selon le nombre des

habitants, étaient obligés de passer la nuit en dehors des habitations, sous de simples auvents, pour veiller à la sécurité publique et empêcher les attaques des « TONTAHELY » (bandes armées). Ces hommes enveloppés dans leur « LAMBA » (pièce de toile servant de vêtement), éclairés par leur fanal, étaient la proie toute indiquée de légions de moustiques, et, comme la garde de nuit, extrêmement pénible, se trouvait répartie entre tous les habitants, chaque Malgache venait à son tour s'offrir, victime résignée, aux anophèles. C'était réaliser le moyen le plus efficace de propager le paludisme.

A ces deux causes on pourrait, si je ne me trompe, en ajouter une autre : la destruction de quantités énormes des grandes araignées « HALABE », qui furent recherchées, en Imerina, pour des essais d'utilisation industrielle du fil ou de la soie de cet aranéide, essais entrepris sur une grande échelle, à l'École professionnelle de Tananarive.

En un seul trimestre, un apport d'environ 30 000 (trente mille) « Halabe » femelles fut fourni par les indigènes aux ateliers de tissage de l'école. — Plus exactement : *en juin, 11 708 ; en juillet, 8650 ; en août, 9420.* — Et dans ces chiffres ne sont pas comptées les « Halabe » exploitées sur place au moyen de machines portatives, à une seule broche, que l'on pouvait diriger vers les agglomérations considérables d'araignées qui étaient signalées quelque part sur un point de la campagne des environs. Dans ces agglomérations se produisaient, dès lors, de grands vides. Les chiffres donnés plus haut ne sembleront pas exagérés à ceux qui, comme moi, se rappellent les nombreuses équipes d'indigènes mobilisés un peu partout pour la chasse, et apportant à Tananarive d'énormes « SOBIKA » (corbeilles) remplies d' « Halabe », dont le dévidage, à la bête vivante, arrivait à produire, en un mois, jusqu'à 55 000 mètres de fil à douze brins, fil qui nécessitait donc des séries de douze araignées en bon état, aux guillotines de la machine à dévider (1). Les comptes détaillés de l'École professionnelle de Tananarive, à cette époque, pourraient, du reste, donner le chiffre total des araignées qui furent alors fournies par les chasseurs, à qui l'on payait 0,40 fr par centaine d' « Halabe » femelles livrées au personnel des ateliers de tissage. Ce salaire de quarante centimes, alors que l'argent avait plus grande valeur qu'aujourd'hui,

(1) Cfr. *Notes, Reconnaissances et Explorations* de la Colonie de Madagascar.

était bien propre, on le comprend, à inciter les indigènes de la brousse à activer leurs chasses.

A ce chiffre de 30 000, il faut ajouter encore un nombre considérable d' « Halabe » mortes par suite des opérations de la chasse, surtout parmi les jeunes. — En outre, les chasseurs indigènes recherchaient et capturaient de préférence les plus belles « Halabe », c'est-à-dire celles dont l'abdomen était le plus gros, le plus apparent ; dès lors celles qui étaient sur le point de pondre : détruisant ainsi, par avance, toute la progéniture. Et parmi les cocons ou coques ovigères avec œufs fécondés déjà pondus, œufs sur le point d'éclore ou éclos récemment, combien ne furent pas détruits par les chasseurs indigènes !

Le Dr A. Vinson est le premier, si je ne me trompe, qui ait donné une description scientifique de l' « Halabe », nommée par lui *Epeira Madagascariensis*. Elle a été classée depuis dans le genre *Nephila (N. Madagascariensis)*. — Avec sa robe argent et or sur fond noir, ses pattes fines et déliées d'un beau rouge de feu, l' « Halabe » femelle, araignée géante, mesurant jusqu'à plus d'un décimètre de longueur totale, trône en souveraine au centre de larges toiles aériennes dont les réseaux dorés sont tendus et fixés aux arbres ou aux édifices voisins par de longs et forts cordonnets de soie.

« Sur ses pièges tendus, sans cesse vigilante,
Dans chacun de ses fils elle paraît vivante. »

. . . . . .

— « Elle est là sans un mouvement,
Préparant de brusques attaques ;
Au milieu du piège, étendant
Ses huit pattes au ton de laque. » (1)

Selon la nature de l'animal qui vient à donner dans les réseaux de sa toile, la tactique de l' « Halabe » varie. A-t-elle affaire à quelque débile insecte, elle s'en empare de haute lutte. Mais si l'intrus a « bec et ongles » pour se défendre, l' « Halabe » y mettra plus de circonspection. Commençant par reconnaître l'adversaire et explorer la position, elle hasardera une première attaque ; puis se repliera, reviendra à la charge, jusqu'à ce qu'enfin sa proie, solidement et étroitement ligotée, n'offrant plus de résis-

(1) *Souvenirs Malgaches*. — Prose De Antsirabe.

tance, l' « Halabe » puisse la dévorer tout à son aise. — Je jette un jour à la toile de l' « Halabe » une Mante de grande taille. Les deux adversaires sont dignes l'un de l'autre. Tous les deux grands carnassiers de la gent Arthropode (ou Articulée). Ils ont reçu de l'Auteur de la Nature des armes également redoutables. L'orthoptère a les deux terribles faux de ses pattes ravisseuses dentelées en scie ; l'aranéide a ses lassos et les poignards empoisonnés de ses crochets. — L' « Halabe » s'approche de l'intruse. La Mante se tient sur la défensive, la tête haute, les yeux étincelants fixés sur l'ennemi, les puissantes machines de ses deux bras prêtes à fonctionner... Au premier assaut, l'aranéide atteinte par la faux de l'orthoptère, recule et bat en retraite vers le centre de sa toile. Là, je vois l' « Halabe » porter alternativement de sa bouche au membre blessé l'extrémité de l'une de ses pattes antérieures : l'araignée panse sa blessure ; et si bien, si efficacement, qu'après quelques minutes, le pansement terminé, elle peut revenir à la charge contre son redoutable adversaire. Celui-ci, prêt à la riposte, admirable d'audace défensive, tient à distance l'assaillant, qui se décide alors à « tourner la position » et à la prendre à revers. Dès lors la Mante est perdue. Moins à portée maintenant des redoutables faux-cisailles, l'aranéide lance ses lassos, immobilise l'orthoptère, le poignarde, ...

« . . . l'emporte et puis le mange ».

L' « Halabe » mâle, chétif « prince consort », ne mesure guère, lui, de l'extrémité des pattes antérieures à l'extrémité des pattes postérieures, que deux ou trois centimètres. Il se tient sur les réseaux de la toile, modestement et prudemment, à distance respectueuse, semblant avoir conscience de son infériorité et du danger qu'il court d'être dévoré par sa géante et puissante épouse.

Sur la toile de l' « Halabe » femelle se trouvent parfois plusieurs mâles ; j'en ai compté jusqu'à sept. De plus, sur cette toile habitent en parasites de nombreuses petites araignées *Linyphies* (1), ainsi que quelques *Tétragnathes* ou genre voisin, à proximité des eaux ou lieux humides.

En comptant les « Halabe » mâles, les Linyphies et les Tétragnathes parasites qui furent victimes des opérations de la chasse aux « Halabe » femelles, on peut évaluer, si je ne me trompe, à un chiffre dix fois supérieur à 30 000, soit à 300 000 (trois cent

(1) Du genre LINYPHIA de Latreille.

mille), le nombre des prédateurs de moustiques qui furent supprimés, en un seul trimestre, dans les environs de Tananarive.

Si l'on ne trouve pas ordinairement des moustiques pris aux réseaux de la toile de l'« Halabe », c'est que l'araignée et ses parasites les dévorent à mesure qu'ils viennent donner dans le piège. D'ailleurs, l'« Halabe », très soigneuse de la bonne économie de sa toile, a coutume d'en rejeter les dépouilles de ses proies, quand celles-ci n'ont pas été entièrement dévorées. — Parfois cependant, diverses circonstances, le vent, par exemple, quand il est fort, poussent de grandes quantités de Culicides dans les réseaux de la toile de l'« Halabe » : j'en ai compté ainsi, sur une seule toile, des centaines, que l'araignée et les parasites Linyphies n'avaient pas encore dévorés ou rejetés.

On m'a objecté que le petit moustique est une proie que dédaigne l'araignée géante. Voulant m'en assurer, j'ai jeté un Culicide hématophage, de petite taille, dans la toile d'une grosse « Halabe ». Celle-ci s'est aussitôt précipitée sur l'intrus et n'en a fait qu'une bouchée. — Et, par ailleurs, dans mes chasses aux moustiques, j'ai eu l'occasion de voir l'« Halabe » faire sa proie de petits Culicides que, même en plein jour, je faisais s'envoler et qui allaient donner dans la toile de l'aranéide.

Prenant donc une moyenne de dix Culicides supprimés journellement, ou plutôt nuitamment, par l'« Halabe » et ses parasites, le nombre des moustiques échappés à leurs ennemis prédateurs (ou destructeurs), au cours d'un trimestre, se serait donc élevé à environ 300 000 000 (trois cent millions), au moins !

Cette chasse à outrance aux araignées « Halabe » en Imerina, a donc permis aux moustiques de se multiplier outre mesure, et par suite a donné lieu, ce semble, à la recrudescence extraordinaire d'endémie palustre ou paludisme observée dans cette région de Madagascar, auparavant assez indemne. Ainsi se trouve confirmée l'opinion qu'il peut y avoir danger à rompre l'équilibre général existant entre les êtres qui se meuvent dans l'univers. Cet équilibre, l'homme le détruit ou le dérange parfois plus ou moins inconsciemment, sans prévoir les conséquences graves de son intervention (1).

M. Edmond Renier concluait un récent article par cette remarque : « Il est probable que la distribution des animaux

(1) Cfr. ÉTUDES. *La lutte contre les insectes nuisibles*. P. de Joannis. 1917.

sur le Globe est le résultat de quelque équilibre que nous avons souvent imprudemment et inconsciemment troublé ; et il est bien possible que d'autres maux que le paludisme soient le résultat de quelque perturbation de ce genre. — De même qu'en politique nous vivons sur des idées *a priori*, qualifiées souvent de la façon la plus engageante, mais en désaccord complet avec les conditions de l'existence des sociétés humaines et qui ont déjà causé bien des désordres, de même, dans l'exploitation du Globe, nous vivons sur des idées économiques qui n'ont aucun rapport avec un ordre naturel que nous n'avons pas pris la peine d'étudier... »

Parmi les Culicides, beaucoup ne sont pas porteurs de sporozoïdes et ne transmettent pas à l'homme l'infection paludéenne. On a dit que nous ne devons pas nous inquiéter par trop, quand nous entendons sonner près de nous le clairon d'un moustique. On prétend même que les plus bruyants et les plus... piquants seraient les moins nocifs. C'est au genre *Anopheles* qu'appartiennent les hôtes ou vecteurs de l'hématozoaire du paludisme. Certains *Anopheles* font des piqûres très peu douloureuses ; si bien que l'on peut être piqué par eux pendant le sommeil sans en avoir connaissance et sans en garder la trace. Beaucoup de *Culex* sont plus gênants ; ils peuvent même provoquer par leurs piqûres des accidents inflammatoires ; mais ils ne semblent pas transmettre l'hématozoaire paludéen (1). — Cependant, d'après l'éminent auteur du *Traité des Maladies des pays chauds*, Sir Patrick Manson, bien que les *Anophelinæ* soient les seuls moustiques, de lui connus, qui paraissent être hôtes intermédiaires de l'hématozoaire paludéen, étant donné que le *Culex pipiens* transmet plusieurs hématozoaires des oiseaux, très proches de ceux de l'homme, il serait téméraire d'affirmer que les *Anophelinæ* soient les seuls moustiques pouvant transmettre le parasite de la « Malaria » (2). Quoi qu'il en soit, il semble bien avéré que, dans le monde des *Anopheles*, les stylets empoisonnés sont l'apanage du sexe faible. Les femelles seules sont hématophages. Les mâles que l'on distingue à leurs antennes plumeuses particulièrement fournies, n'ont qu'une existence éphémère durant laquelle ils ne semblent piquer jamais. Ce n'est pas ici le lieu de donner les

(1) Dr A. Laveran, *loc. cit.*

(2) Cfr. *Maladies des pays chauds.* — Traduit de l'anglais par le Dr Maurice Guibaut.

caractères qui distinguent les Culicides les uns des autres. Qu'il suffise d'en signaler deux, faciles à saisir, pour ne pas confondre les *Culex* avec les *Anopheles :* les *Culex* ont les palpes maxillaires plus courts que la trompe; les *Anopheles* les ont toujours d'à peu près même longueur. D'autre part, quand un moustique est posé sur une paroi verticale, il affecte, suivant le genre auquel il appartient, une pose caractéristique. L'axe du corps du *Culex* est parallèle à la paroi ; l'axe du corps de l'*Anopheles* forme, au contraire, avec la paroi un angle d'ouverture variable. Cette règle néanmoins ne s'appliquant pas à toutes les espèces de Culicides, on ne peut lui attribuer la valeur d'un caractère générique (1).

Quel peut être le nombre des *Anopheles* femelles à comprendre dans les chiffres plus haut — puisque ce sont elles qui transmettent le paludisme ? — Je ne saurais le préciser.

Ce que je puis affirmer c'est que, dans mes chasses aux moustiques, je n'ai reconnu que peu d'*Anopheles* là où les araignées abondaient, et beaucoup là où elles étaient supprimées par la main de l'homme, pour une raison ou pour une autre. Je dois dire cependant que mes chasses n'ayant pas été pratiquées partout à la même époque, ce n'est que sous le bénéfice de plus amples observations que j'oserais émettre l'opinion que les *Anopheles* se rencontrent, dans une région déterminée, en proportion inverse des « Halabe ».

Voici un fait particulier et local, il est vrai, mais qui peut avoir quelque valeur cependant, à l'appui de ma thèse ou... hypothèse. Les établissements de la Mission catholique, à Ambohipo, près Tananarive, sont situés sur les bords du lac ou étang de même nom. Cet étang a une « queue », c'est-à-dire une partie alternativement submergée, puis asséchée, et constitue, dès lors, un milieu d'élection pour le paludisme. Or il n'y avait que très peu de fièvre paludéenne parmi le personnel enseignant et enseigné, à l'époque où toute liberté de se multiplier naturellement était laissée aux « Halabe ». Elles y étaient si nombreuses que le parc de l'établissement fut un des points choisis par l'École professionnelle de Tananarive, pour y installer une des machines portatives à une broche, dont j'ai parlé plus haut. Le R. P. Ambroise Cadet, qui dirige aujourd'hui cet établissement, me disait dernièrement qu'autrefois, parmi plus de cent

(1) Cfr. Sambon, Brit. med. Journal, janvier 1901.

élèves pensionnaires au Collège, les cas de fièvre paludéenne étaient rares ; tandis qu'aujourd'hui cette fièvre y sévit sérieusement, surtout chez les occupants des habitations où et près desquelles les araignées sont supprimées.

Pareille observation pourrait peut-être s'appliquer à d'autres régions de Tananarive et environs ; mais ici mes vieux souvenirs arachnologiques ne me servent pas d'une façon assez précise. Je crois cependant me rappeler que lors de mon arrivée à Tananarive, il y aura bientôt quarante ans, l'araignée « Halabe » étant, pour une raison ou pour une autre, généralement respectée, sauf par quelques enfants friands de son abdomen et se parant de sa toile aux réseaux dorés, l'aranéide pullulait, tant à la ville qu'aux environs, et la fièvre paludéenne sévissait fort peu alors.

D'autres aranéides de Madagascar font aussi leur proie du moustique ; par exemple les *Attides,* petites araignées vives et alertes s'emparant de leurs proies sur les parois des murs, les fenêtres des appartements exposées au soleil, les plantes. On les voit partout faire une guerre incessante et acharnée aux mouches et aux moustiques. Elles en détruisent beaucoup.

Mais les *Attides* et certains autres aranéides de petite taille, n'ont pas été inquiétés par l'industrie humaine, ce semble, dans le cycle de leur existence et de leur reproduction. Je signalerai donc des espèces plus exposées, de par leur taille ou leur habitat, à voir leur évolution normale contrariée par la main de l'homme et à être ainsi prématurément ou démesurément supprimées. L'*Epéire livide,* gros aranéide qui tisse des couloirs soyeux au bord des toits, dans les encoignures et sous les grosses branches d'arbres. Durant le jour l'araignée se tient au fond de ce couloir, mais le soir elle descend sur les réseaux de sa toile attenante au couloir, et elle y reste toute la nuit. La toile de l'*Epéire livide* est habitée, comme celle de l'« Halabe », par des Linyphies parasites. J'ai observé sur les toiles de l'*Epéire livide,* des Culicides divers et en grand nombre. — Les *Gasteracanthides,* que l'on aperçoit, le soir, au crépuscule, tissant une assez large toile circulaire, de fils très menus, où, durant la nuit, viennent donner et se prendre les moustiques. — Les *Opuntiées,* qui vivent en très grand nombre sur les Agaves et autres végétaux divers. — Les *Tégénaires, Agélènes,* ou genre voisin :

« Elles étalent leur tanière
Dans le palais, dans la chaumière » (1).

(1) « *L'Araignade* », par PIERRE CONTRAS. Paris.

Elles tissent ces toiles à réseaux qu'argente, sous les rayons du soleil levant, la rosée du matin, et que l'on voit recouvrir comme d'une blanche mantille de gaze, les graminées des « Tanety » de nos hauteurs centrales de la Grande Ile. — Qui saurait dire les hécatombes que faisaient et font parfois encore parmi ces prédateurs de moustiques, les feux allumés dans la brousse par l'indigène ; et aussi le..... *balai*..... des préjugés citadins ! — Je signale encore, pour aujourd'hui, ne l'ayant pas suffisamment observée, une araignée dont je n'ai pas, pour le moment, la détermination exacte. Elle habite de grandes poches soyeuses fixées aux branches des arbres et prolongées par de larges toiles, pièges meurtriers pour divers insectes.

Le Professeur Laveran, dans le chapitre de son *Traité du Paludisme,* consacré à la lutte anti-paludéenne, a signalé la prophylaxie indirecte ou destruction des moustiques par les araignées ; renvoyant pour plus ample information à une note publiée dans les *Actes de l'Institut royal d'encouragement de Naples* par le Professeur Fr. Sav. Monticelli, sous ce titre : « La prophylaxie biologique dans la lutte contre la Malaria » (1).

Le Professeur Fr. Sav. Monticelli, aujourd'hui à la Direction de l'*Institut Zoologique de l'Université royale de Naples,* a eu l'obligeance de me communiquer un tiré-à-part de cette note. — Il y a fait observer que, dans la lutte contre le paludisme, toutes les méthodes de prophylaxie : hygiénique, spécifique, défensive, agraire, doivent être étudiées sans exception et appliquées avec ensemble. La prophylaxie défensive contre les moustiques constitue un des facteurs de cette lutte, qu'elle soit directe ou indirecte.

Les rapports biologiques entre les moustiques et leurs ennemis, parasites et prédateurs, les araignées entre autres, peuvent fournir un élément important de cette prophylaxie défensive que l'éminent professeur propose de désigner sous le nom de « Prophylaxie biologique ». Ces méthodes ont été employées avec succès dans la lutte contre les insectes nuisibles à l'agriculture.

Entre autres mesures à prendre, dans ce but, celles tendant à la multiplication des ennemis des moustiques s'imposent ; et tout ce qui peut avoir trait à cette prophylaxie biologique est à encourager.

(1) « La profilassia biologica nella lotta contra la Malaria », 1906.

Le Dr Fontoynont, dans un Rapport présenté par lui au *Congrès d'Agriculture Coloniale* de 1918, à Paris, rapport où il traite de l'hygiène des indigènes à Madagascar, émettait le vœu qu'une propagande active fût faite dans tous les milieux indigènes, et surtout dans les écoles, pour indiquer les moyens prophylactiques destinés à enrayer les maladies, causes de grande morbidité ou de grande mortalité, et tout particulièrement, le paludisme. Dans la séance de l'Académie de Tananarive, du 25 mars 1920, j'ai proposé moi-même de reprendre et d'appuyer le vœu du Dr Fontoynont, en attirant l'attention des pouvoirs publics de Madagascar — et, par concomitance, des autres régions où sévit l'endémie palustre — sur une prophylaxie biologique du paludisme, prophylaxie mise en œuvre au moyen d'observations, d'expériences, de publications vulgarisatrices, et par de sages mesures de protection et même de diffusion des aranéides prédateurs (ou destructeurs) du moustique, et en particulier des grandes espèces plus exposées à être supprimées par le public.

Ces mesures, pour être efficaces, demanderaient sans doute une action collective sérieuse ; or, pour cette action commune de la collectivité, on l'a fait observer ailleurs, il faudrait une réglementation ; mais cette réglementation ne saurait être utile que si elle n'était pas vexatoire. C'est surtout en attirant, tout d'abord, l'attention du public, en l'instruisant par des articles de presse, par des tracts avec illustrations évocatrices, par exemple, par des films cinématographiques, qu'il faudrait rendre populaires les mesures à prendre. Il serait bon et utile surtout de recommander aux enfants des écoles, comme on le fait déjà depuis longtemps dans certaines régions d'Europe, de ne pas compromettre l'existence des aranéides en détruisant leurs toiles inutilement. Au contraire, on attirerait leur attention sur certains nids de guêpes maçonnes, afin de les démolir. Ces hyménoptères font, en effet, une chasse active aux aranéides pour en nourrir leur progéniture ou larves dans les « garde-manger » de leurs nids maçonnés. Dans un seul compartiment de ces nids, j'ai compté jusqu'à douze jeunes « Halabe » paralysées par le poignard de l'hyménoptère.

Il a été dit souvent que, dans la lutte pour la vie, les plus petits de nos ennemis sont à craindre davantage que les grands. Pour quelques personnes victimes des Vertébrés, du lion, du tigre ou de l'éléphant, c'est par milliers qu'il faut compter les victimes des Articulés, des petits moustiques en particulier. Pour

lutter contre eux, aucun moyen, défensif ou offensif, n'est à dédaigner, ne s'appuyât-il que sur les réseaux ténus d'une..... toile d'araignée.

PAUL CAMBOUÉ, S. J.
Missionnaire à Tananarive.

III

GEORGES HALPHEN

« Voici vingt-cinq ans que Halphen a été enlevé à la Science » française, dans tout l'éclat de son talent. Rien n'a vieilli dans » ses écrits, d'une admirable perfection, et dont toutes les parties » sont comme des œuvres d'art dignes d'être proposées comme » modèles à tous ceux qui cultivent les Sciences mathématiques. »

C'est en ces termes qu'une courte Introduction, signée par Camille Jordan et Émile Picard, présente au public les *Œuvres de G.-H. Halphen* (1). Un tel éloge, muni de deux telles signatures, permet d'apprécier quel service a rendu à la Science la pieuse initiative de Mme Georges Halphen, le jour où elle réunit les écrits de son mari et en confia la publication à trois illustres membres de l'Institut de France. La diligente et savante collaboration du Professeur de l'Université de Lyon, E. Vessiot, qui joint à son culte de la Géométrie supérieure une parfaite connaissance de l'Analyse, a garanti à l'ouvrage, outre d'autres non moins importantes qualités, la sûreté du texte et la correction qui conviennent à l'une des plus belles éditions de la Maison Gauthier-Villars. On remarque avec tristesse l'absence, au bas de la très brève Introduction que nous transcrivions plus haut, de la signature de Henri Poincaré, lui aussi trop tôt disparu. Mais cette absence est compensée par la reproduction, en tête du Tome I, de la longue *Notice sur Halphen* que Poincaré donna au JOURNAL DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE. On peut lire cette même Notice, mais abrégée par la suppression fréquente de passages techniques, dans le précieux recueil intitulé *Savants et Écri-*

(1) *Œuvres de Georges Halphen*, publiées par les soins de C. Jordan, H. Poincaré, É. Picard, avec la collaboration de E. Vessiot. Paris, Gauthier-Villars, éditeurs. Tome I, in-8°, XLIII-570 pages, 1916. Tome II, in-8°, VII-560 pages, 1918. Le Tome III est sous presse.

vains, l'une des dernières publications de Poincaré. Géomètre de génie et écrivain d'exceptionnelle valeur, Poincaré avait mis tout son talent et tout son cœur à raconter la vie et à décrire l'œuvre de ce mathématicien de premier ordre, qui fut son ami et parfois son heureux émule. Cette Notice est précédée, dans ce Tome I, de l'éloge académique d'Halphen lu par Picard à l'Académie des Sciences en mars 1890, chef-d'œuvre lui aussi de tenue littéraire et de tenue scientifique.

Nous voudrions saluer ici, à l'occasion de cette publication, la mémoire d'Halphen et rappeler quel fut le caractère de son œuvre et quelle fut la direction habituelle de sa pensée mathématique.

Né à Rouen, le 30 octobre 1844, Georges-Henri Halphen fut amené par sa mère, veuve de bonne heure, à Paris, où ses brillants succès au lycée Saint-Louis et au Concours général attirèrent l'attention. Entré à l'École Polytechnique en 1862, il se fit remarquer de ses maîtres et de ses camarades par son talent d'algébriste. Dans la suite, belle figure de savant, figure de soldat non moins attachante, il conservera, de sa formation à la Polytechnique, la sévérité des habitudes intellectuelles et l'amour de la rigoureuse discipline militaire, mais surtout cette énergie morale qui, disait volontiers Poincaré, fait le capitaine, comme elle fait le soldat. Lieutenant d'artillerie à Auxonne, puis à Strasbourg, il a la passion de son arme. Toutefois, il consacre tous ses loisirs à une patiente et silencieuse initiation aux méthodes de l'Algèbre et de la Géométrie modernes : c'est dans les domaines de ces deux sciences, si voisines, que son talent a trouvé dès l'abord sa voie définitive.

Si nous laissons de côté deux Notes considérables, qui furent honorées de leur insertion dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences, l'une en 1864 (l'auteur n'avait pas vingt ans), sur l'intégration des équations linéaires, l'autre en 1868, sur le caractère quadratique du nombre 2 (l'auteur se montre familiarisé avec les écrits de Gauss et de Jacobi), le premier travail original d'Halphen remonte à l'année 1869. Il a pour titre : *Sur le nombre des droites communes à deux congruences*. Ce travail fut accueilli dans les mêmes Comptes rendus. Il annonce déjà un ouvrier d'élite et indique le champ de ses futurs labeurs : la Géométrie énumérative, ou, si l'on veut, la Théorie générale des éliminations, puisque les lignes et les surfaces de la Géométrie se traduisent par les équations de l'Analyse. L'objet de cette

Géométrie nouvelle est de dénombrer les figures d'une espèce déterminée qui satisfont à un système de conditions donné : ces conditions s'expriment algébriquement par des relations entre les paramètres qui définissent la figure de l'espèce considérée. Inaugurée par de Jonquières en un Mémoire de 1861 (1) et aussitôt cultivée avec éclat par Chasles, cette science se montrait riche de promesses, mais de toutes parts les obscurités et les obstacles embarrassaient les pas des explorateurs les plus renommés. Halphen passa bientôt de la Géométrie énumérative des droites à la Géométrie énumérative des courbes. Dès février 1870, il est en possession des principes de la détermination et de la classification des courbes algébriques de l'espace : sujet tout neuf et très ardu, car on ne possédait sur les courbes algébriques gauches, à part diverses courbes exceptionnellement heureuses, que des notions vagues. Il avait rédigé dès lors sur ce sujet un Mémoire qui atteignit deux cents pages, et que Picard et d'autres juges encore appelleront son chef-d'œuvre. Le propre du talent d'Halphen s'y manifeste, tel qu'il se retrouvera dans chacun de ses écrits futurs : une pénétration puissante et patiente, un goût de l'achevé, du parfait, qui ne sait se permettre rien d'imprécis, rien d'obscur, rien d'incomplet. Les Comptes rendus de l'Institut insérèrent, présenté par Chasles, un petit extrait de ce vaste travail. Mais avant que les savants eussent eu le temps de s'occuper de cette Note, la guerre franco-allemande éclata. Douze ans plus tard, l'Académie des Sciences de Berlin ayant proposé pour sujet du Concours au prix Steiner de 1882 la Théorie des courbes gauches algébriques, Halphen reprit en mains son Mémoire inédit : il le retoucha à peine, se contentant de le compléter d'un chapitre, où il appliquait systématiquement sa classification aux courbes gauches des vingt premiers degrés ; de plus, il la développait à part pour les courbes du degré 129, afin de mettre en lumière les circonstances qui n'apparaissent pas dans les premiers degrés. Envoyé à Berlin, ce Mémoire, qu'Halphen aimait à appeler son œuvre de jeunesse, fut couronné par l'Académie, qui doubla cette fois le prix Steiner, afin de le partager entre le savant français et le géomètre allemand Noether, son concurrent.

La guerre de 1870 avait trouvé Halphen à son poste. Lieutenant en premier, il est envoyé à Besançon, où il s'occupe de

(1) *Théorèmes généraux concernant les courbes géométriques planes d'un ordre quelconque*, dans le JOURNAL DE MATHÉMATIQUES de Liouville.

l'armement de la place, puis à Mézières, où il s'emploie à la défense de la ville. Il réussit à échapper à l'investissement et, malgré les suites d'une chute de cheval, il va joindre l'héroïque petite Armée du Nord. Promu capitaine, sa conduite brillante à la bataille de Pont-Noyelles le fait décorer de la Légion d'honneur ; il se bat à Bapaume, puis à Saint-Quentin : en ce dernier combat, sa batterie, excellemment placée à la gauche de Francilly, rendit durant toute la journée de signalés services, et le jeune capitaine eut l'honneur d'une citation dans le rapport du général Faidherbe. Il prit part ensuite à la lutte contre la Commune et au second siège de Paris, et finalement fut attaché à la Direction générale de l'Artillerie.

Deux ans après, le brillant officier est appelé à se dépenser sur un autre champ de labeurs : il est nommé Répétiteur d'Analyse à l'École Polytechnique ; plus tard, il est chargé en outre des fonctions d'Examinateur d'admission. Durant plus de treize ans, il appartiendra tout entier au service de la Science : ce ne sera point cesser de servir la France, à qui il importe, au lendemain des malheurs de 1870, de retrouver une nouvelle et puissante vie scientifique. Dès lors, ses Mémoires, souvent de longue haleine, et ses Notes, souvent de haute portée et toujours d'une absolue perfection, se multiplient dans les Comptes rendus de l'Académie. De leur côté, les principaux journaux mathématiques de France et de l'étranger s'honorent à l'envi d'accueillir les communications et les travaux de ce géomètre, classé parmi les plus réputés de l'Europe, trois fois lauréat de l'Académie des Sciences de Paris et une fois couronné — nous l'avons dit — par l'Académie des Sciences de Berlin. Aussi, lorsque l'Institut, en 1886, procéda à l'élection pour le remplacement de Bouquet, membre de la Section de Géométrie, Halphen fut élu à l'unanimité presque complète des suffrages, — par 49 voix sur 51, — et cela, dès sa première candidature, circonstances rares l'une et l'autre.

Le tableau de l'œuvre très féconde d'Halphen, — réunie pour la première fois dans les trois volumes qui nous occupent, mais auxquels il faut ajouter les trois volumes de son *Traité des Fonctions elliptiques,* — a été fait de main de maître par plusieurs de ses pairs : par Hermite, par Picard, et avec plus d'ampleur par Henri Poincaré. Ces trois Notices ouvrent le premier et le second des trois volumes parus. Elles ne sont égalées en valeur scientifique que par les pages consacrées par Camille Jordan dans le JOURNAL DE MATHÉMATIQUES (1889, pp. 345-351) à la

mémoire de son collaborateur et ami (1). Le géomètre italien Brioschi, juge compétent lui aussi, — car ses travaux et ceux d'Halphen eurent plus d'une fois les mêmes objets, — exposa à son tour l'œuvre de l'analyste français dans un discours à l'Académie *dei Nuovi Lincei,* en juin 1889 (2). Du reste, le mathématicien qui s'intéresse à cette œuvre, aimera à demander à Halphen lui-même l'analyse de ses recherches et la synthèse de ses résultats. Il n'est point, à cet égard, de lecture plus attachante que celle de la *Notice sur ses travaux mathématiques* rédigée par Halphen en 1885 à l'occasion de sa candidature à l'Académie des Sciences. L'Académie exige de ses candidats un exposé de leurs titres : Halphen dut se soumettre à cette règle, et il le fit avec un remarquable talent d'écrivain et, comme on s'y attend, avec une rare connaissance de ces régions de la haute Analyse et de la Géométrie supérieure où habitait constamment sa pensée. On saura gré aux éditeurs d'avoir placé en tête de ses œuvres (t. I, pp. 1-47) ce document, qui en forme la plus autorisée introduction. La lecture de cette pièce de 1885 soulève un regret : la mort ayant clos bientôt après — en 1889 — cette carrière déjà riche de tant de résultats et pleine encore de promesses, la Notice rédigée par Halphen sur ses propres travaux revêt pour nous les aspects endeuillés d'un adieu posthume à ses contemporains ou, si l'on veut, d'un testament scientifique tristement prématuré.

Le talent d'Halphen se caractérise, tout d'abord, on l'a dit, par l'absolue perfection de chacun de ses écrits. L'Algèbre est une langue amie de l'ordre et de la rigueur, de la clarté et de la précision, et qui se plaît à s'exprimer en formules élégantes et harmonieuses. Comme toutes les langues, l'Algèbre, a dit un jour Joseph Bertrand, a ses grands écrivains : Halphen fut un de ceux-là. Mais la méthode et la rigueur ne sont pas le tout des Mathématiques : sinon, le Mathématicien ne serait, selon l'expression de Poincaré, qu'« une machine à calculer et à déduire », et une telle machine mord brutalement sur les faits qu'on lui soumet : l'âme des faits lui échappe. Aussi, partout encore Hal-

(1) Cette Notice était suivie, dans le JOURNAL de Liouville (*loc. cit.*, pp. 352-359), d'une précieuse *Liste des travaux de G.-H. Halphen*, dressée par J.-B. Guccia, le savant professeur de Géométrie supérieure de l'Université de Palerme ; les travaux y sont classés par ordre de matières.

(2) Ce discours a été reproduit, traduit en français, dans le BULLETIN DES SCIENCES MATHÉMATIQUES de Darboux (t. XXIV, 1890. pp. 62-72)

phen montre, au surplus, l'esprit de finesse, tant loué par Pascal chez le Géomètre, et l'esprit d'invention, aidé sans cesse par le don d'imagination, qui permet au Géomètre d'interpréter et, au besoin, de créer les éléments sur lesquels il travaille.

Un second caractère de l'œuvre d'Halphen est la direction même qu'il avait coutume de donner à ses recherches. Les Mathématiciens se partagent, comme Picard et Poincaré l'ont excellemment rappelé, entre deux tendances opposées. Les uns — et de préférence, parmi ceux-là, les artisans du Calcul intégral et de la Théorie des Fonctions, — ont la passion d'étendre sans cesse le champ des notions acquises, d'élargir les frontières de la Science : ont-ils découvert quelque voie nouvelle, ils la signalent, s'y engagent à peine, puis vont à d'autres recherches. Les autres — et, parmi eux, fréquemment les travailleurs de l'Algèbre moderne et de la Géométrie analytique — ont le souci de mettre en valeur les domaines acquis, d'assurer la solidité et d'apprécier la profondeur des découvertes récentes : redoutant de brûler les étapes, ils ne laissent inexploré aucun recoin des régions nouvellement annexées. Les uns et les autres sont des ouvriers du quotidien progrès scientifique. Les uns et les autres ont des âmes de savants, des âmes d'artistes, que le vrai et le beau émeuvent. Seulement, — et cette comparaison est de Poincaré, — ceux-là sont artistes à la façon de l'alpiniste hardi, qui rêve de gravir des cimes nouvelles, favorables aux vastes horizons ; ceux-ci le sont à la manière du modeleur patient, qu'anime la continuelle vision des chefs-d'œuvres de la statuaire grecque : « C'est à ces chefs-d'œuvre, dit Poincaré, que font penser les » Mémoires d'Halphen, où il semble qu'on ne pourrait changer un » seul mot sans en détruire l'harmonie. » Et l'illustre auteur de *La Science et l'Hypothèse* et de *Science et Méthode*, tout en se réclamant, quant à lui-même, de l'école de l'alpiniste, ajoute : « Esprit pénétrant autant que juste, Halphen pouvait choisir » entre ces deux voies opposées : il préféra la seconde ; les » géomètres qui ne l'ont pas lu, s'il y en a, peuvent seuls regret- » ter ce choix. » Au surplus, observe-t-il, Halphen a su, tout en étant complet et parfait, rester original et pénétrant : il a accru le domaine de l'Analyse, non seulement en profondeur, mais en étendue.

On peut grouper convenablement les ouvrages d'Halphen, comme il le fit lui-même dans sa propre Notice précitée, en cinq ou six groupes principaux, représentant d'ailleurs les cinq

ou six étapes de sa pensée mathématique. Sa méthode favorite de travail, méthode patiente et sûre, était, en effet, celle-ci : un objet d'étude s'emparant de son attention, il se livrait tout entier au défrichement de ce champ nouveau, le pénétrait de tous côtés, le remuait sans cesse et ne l'abandonnait point que l'œuvre ne fût achevée et parfaite.

1. *La Géométrie des complexes et des congruences de droites* (1869-1873). — Pour traiter les problèmes de Géométrie énumérative relatifs aux droites, Halphen se plaça sur le terrain de la Géométrie de Plücker, alors toute neuve. De même que la Géométrie analytique ancienne considère le point comme l'élément de l'espace et envisage les lignes, soit planes, soit gauches, et les surfaces comme des lieux de points, de même la Géométrie pluckérienne considère la droite comme l'élément de l'espace, puis examine successivement les *complexes* (ou entrelacements de droites), les *congruences* (ou faisceaux de droites), — ces dénominations sont de Plücker — et les *surfaces réglées*. Ces trois termes désignent les lieux des droites assujetties à *une*, à *deux* ou à *trois* conditions et, par conséquent, exprimées par des équations n'offrant que trois paramètres libres, que deux ou qu'un seul. Les intersections mutuelles de deux complexes constituent une congruence ; de trois complexes, une surface réglée. Quatre complexes déterminent dans l'espace, en s'entrecoupant, un ensemble d'un nombre fini de droites : les complexes de droites réalisent donc une Géométrie à quatre dimensions (1).

Dès le premier abord de ces travaux (1869), Halphen montra combien il avait la main heureuse dans la recherche de formules

(1) Plücker (1801-1868) a fait connaître par une Lecture à la Société royale à Londres, en décembre 1864, les bases de sa Géométrie. Cette Lecture, intitulée *Sur une nouvelle Géométrie de l'espace*, fut traduite en français dans le JOURNAL de Liouville en 1866. Le géomètre de Bonn avait, d'ailleurs, formulé déjà vers 1830 les principes de sa doctrine. En 1868 et 1869 parurent les deux volumes de sa *Neue Geometrie des Raumes*, œuvre posthume et inachevée, que R. Radau analysa excellemment dans le BULLETIN DES SC. MATHÉM. (1870) de Darboux. — En Géométrie pluckérienne, outre la Théorie des complexes et congruences de droites, il y a lieu d'étudier la Théorie des complexes et congruences de courbes Un complexe de courbes est l'ensemble des courbes, en nombre triplement infini, dépendantes de trois paramètres arbitraires ; une congruence de courbes est l'ensemble des courbes, en nombre doublement infini, dépendantes de deux paramètres arbitraires.

simples, élégantes et fécondes. Citons, par exemple, cet énoncé d'un théorème qu'il ne découvrit pas sans labeur : Le nombre des droites communes à deux congruences est égal au produit des ordres de ces congruences, augmenté du produit de leurs classes. (L'ordre et la classe d'une congruence sont respectivement le nombre des droites de cette congruence qui passent en un même point ou sont dans un même plan.)

2. *Recherches sur les Caractéristiques des systèmes de coniques et, plus tard, des systèmes de surfaces du second degré.* — Nul objet n'occupait davantage, il y a cinquante ans, les mathématiciens adonnés à la Géométrie nouvelle que l'étude des systèmes de coniques. De même qu'une droite est déterminée par deux points et qu'un cercle est déterminé par trois points ou par trois tangentes, une conique est déterminée par cinq conditions. Le problème qui se posait, était donc de chercher combien, dans le système (ou ensemble) des coniques infiniment nombreuses qui satisfont à quatre conditions, il y en a qui satisfont à une nouvelle et cinquième condition.

Le plus illustre représentant de la Géométrie pure à cette époque, Michel Chasles, se jeta avec passion dans cette recherche. Malgré ses soixante-dix ans, Chasles — suivant les expressions de Philippe Gilbert, retraçant ici même, dans cette Revue, le portrait de son vénéré et cher maître (1) — avait conservé, sinon l'ancienne fécondité de son génie créateur et original, du moins les ardeurs d'une activité que l'âge n'arriva point à entamer. Sa confiance dans les ressources de la Géométrie pure était illimitée : il espéra l'amener à fournir à sa rivale, la Géométrie analytique, une solution générale des difficultés que celle-ci rencontrait dans le problème de la détermination d'une conique par cinq conditions et dans l'étude des systèmes de coniques assujetties à quatre conditions seulement. S'il réussissait, le service rendu à la Science était grand ; car ces questions se compliquaient d'éliminations qui dépassaient souvent les forces de l'Analyse, et la Science en restait à ses premiers pas. Il y réussit, ou, du moins, il découvrit, en 1864, une formule d'une extrême simplicité et en déduisit une méthode des plus ingénieuses, la *Méthode des caractéristiques*. Il crut, et les plus

(1) Le grand géomètre étant mort le 18 décembre 1880, le Professeur de Louvain lui consacra ici même de sa plume si savante et si française, sous le simple titre *Michel Chasles*, une étude fort attachante, qu'on relira toujours avec profit, dans le numéro d'octobre 1881, pp. 517-590.

excellents géomètres le crurent avec lui, que sa formule était absolument générale.

Essayons de donner une idée de la découverte de Chasles. Le pénétrant géomètre envisagea le système des coniques soumises à quatre « conditions élémentaires » (1). Il le définit par deux nombres, qu'il appela les *caractéristiques* du système : le nombre μ des coniques de ce système qui passent par un point donné et le nombre ν des coniques du même système qui sont tangentes à une droite donnée (2). Or, par l'examen de cas très nombreux et très variés, il découvrit que le nombre des coniques du même système qui satisfont à une nouvelle et cinquième condition Z, est toujours exprimé par une fonction de μ et de ν de la forme $\alpha\mu + \beta\nu$, où α et β sont des nombres entiers, qui peuvent être nuls et qui ne dépendent que de la condition Z : on peut déterminer ces paramètres α et β directement, en associant la condition Z avec quatre conditions dites élémentaires. Chasles trouva un très remarquable procédé, qui aboutissait à fournir les caractéristiques du système au moyen des paramètres de quatre conditions élémentaires. Dès lors, le nombre des coniques satisfaisant à cinq conditions s'obtenait sans peine.

Chasles développa sa découverte durant toute l'année 1864 et en tira d'innombrables théorèmes, souvent extrêmement beaux (3).

Communiquée au monde savant par les Comptes rendus de l'Académie, la découverte de Chasles produisit une grande impression. La Société royale de Londres honora le géomètre français de la plus haute distinction dont elle disposât, la médaille de Copley.

(1) Chasles désigne de ce nom les conditions les plus simples auxquelles on puisse assujettir une conique, qui sont soit de passer par un point donné, soit d'être tangente à une droite donnée.

(2) Par exemple, les *caractéristiques* du système de coniques qui passent par quatre points sont 1 et 2 ; car, dans l'infinité de coniques qui passent par quatre points donnés, il y en a *une* qui passe par un cinquième point donné et *deux* qui sont tangentes à une droite donnée. De même, les caractéristiques des systèmes définis par trois points et une tangente, par deux points et deux tangentes, par un point et trois tangentes, par quatre tangentes, sont respectivement (2, 4), (4, 4), (4, 2), (2, 1), — Le symbolisme $\alpha\mu$ traduisait une découverte d'un autre éminent géomètre, l'amiral Ernest de Jouquières, dont les travaux dans cette direction avaient préludé aux recherches de Chasles.

(3) C. R. DE L'ACAD. DES SC., 1864, *passim* ; voyez aussi le *Rapport sur les progrès de la Géométrie*, par M. Chasles, Paris, 1870, pp. 257-260. La Notice précitée, *Michel Chasles* par Ph. Gilbert, dans la présente REVUE, n° d'oct. 1881, s'occupe pp. 584-585 de la Méthode des caractéristiques de Chasles.

Mais la Méthode des caractéristiques ne reposait que sur l'induction. Or, si nombreux et si variés que fussent les faits soumis à l'observation et qui tous confirmaient les règles de Chasles ou, du moins, finissaient par s'y plier, l'induction *per exempla* n'est pas, en Géométrie, une preuve légitime. Des savants de grand renom se mirent en quête de démonstrations rigoureuses. Plusieurs pensèrent avoir réussi : citons Clebsch ; puis Lindemann, qui plus tard, en 1882, devait avec plus de bonheur s'illustrer par la découverte de l'impossibilité de la quadrature du cercle ; puis le perspicace danois Zeuthen et enfin Cayley. Cependant, de l'avis de Zeuthen lui-même, il était difficile d'affirmer que ces démonstrations fussent sans points faibles. Halphen, lui aussi, avait trouvé en 1873 une démonstration, que des corps savants avaient acceptée. C'est ainsi qu'autrefois l'illustre Abel avait cru résoudre l'équation du cinquième degré et peu après donnait son immortelle démonstration de son insolubilité. Ceux qui croient infaillibles les mathématiciens ou, du moins, leurs méthodes, ont parfois de quoi se scandaliser. Ils ignorent que souvent il est infiniment difficile, non pas tant de résoudre le problème qui s'impose, mais bien plus d'en formuler l'exact énoncé et de définir complètement chacun des termes dont l'on se sert au cours de la question.

La pénétrante sagacité d'Halphen n'avait pas tardé à s'inquiéter de certains cas singuliers, qui se dérobaient à sa démonstration. Chasles déjà en avait lui-même signalé plusieurs dès 1864, et ne les avait pliés à ses règles qu'en élargissant celles-ci : c'était, par exemple, ce qu'il appelait les « quasi-coniques », ces étranges coniques tantôt réduites à l'ensemble de deux droites, tantôt « infiniment aplaties » et réduites à deux points, représentant leurs sommets. Chasles avait aussi, formellement et de bonne heure, signalé le cas exceptionnel où il y a « dépendance » entre le système des coniques soumises à quatre conditions élémentaires et la cinquième condition : ainsi, par quatre points on peut mener deux coniques tangentes à une droite donnée, mais ce n'est plus vrai, si la droite passe par un de ces quatre points ; ces deux coniques se confondent en une seule (1). Hal-

(1) C. R. DE L'ACAD. DES SC., 1864, p. 356 et *passim*. Un mathématicien belge, qui n'avait point tenu compte de ces formelles indications de Chasles, adressa à l'Académie royale de Belgique une Note, où se mêlaient diverses erreurs et qui se montrait injuste à l'égard de Chasles. Il s'ensuivit une correspondance entre l'illustre géomètre et le Secrétaire de l'Académie royale : voyez les BULLETINS de l'Académie, 1877, pp. 655-663 ; Folie et Catalan rendirent à Chasles l'hommage qui lui revenait.

phen reprit et poussa à fond l'étude de ces singularités et de cette dépendance. Il reconnut l'existence de trois variétés de coniques singulières. Les unes sont « dégénérées » en deux droites distinctes et leur point d'intersection ; d'autres, en deux points distincts et la droite qui les joint ; d'autres encore, doublement singulières et où se superposent les deux dégénérescences précédentes, se réduisent, en coordonnées ponctuelles ou cartésiennes, à deux droites confondues en une seule et, en coordonnées tangentielles, à deux points confondus en un seul. Il approfondit et précisa la notion, que Chasles avait laissée trop vague, de la « dépendance ». Il réussit à fixer les conditions de l'application des formules de de Jonquières et de Chasles. Il parvint à la détermination complète du nombre des coniques qui satisfont à cinq conditions : ce nombre s'exprime par un produit de cinq facteurs, dont chacun ne dépend que d'une seule des conditions données. La question si longtemps débattue était définitivement tranchée. Halphen avait remplacé le théorème de Chasles par une solution moins simple, mais où régnaient l'ordre et l'élégance et que nulle exception ne viendrait désormais troubler.

Halphen présenta ses magnifiques résultats à l'Académie des Sciences le 13 novembre 1876. Il les développa dans un Mémoire qu'il donna deux ans plus tard au JOURNAL DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE et où il les étendait, éclairés de nombreux exemples, aux surfaces du second ordre.

Quant à Chasles, le vieux et illustre savant avait eu le temps, avant de disparaître de ce monde, en 1880, de suivre de ses yeux jusqu'à leur complet et superbe achèvement les travaux d'Halphen : ils n'avaient pas anéanti sa chère *Méthode des caractéristiques* de 1864, mais ils l'avaient reconstruite de fond en comble à nouveaux frais, sur des fondements définitifs, et l'avaient singulièrement perfectionnée et exhaussée. Plusieurs savants en voulurent à Chasles d'avoir retardé quelque temps le progrès de la Science par les incertitudes, les tâtonnements, les fautes même de sa Théorie des caractéristiques, insuffisamment éclairée. Ils oublient qu'il est de règle de pardonner au vieil Homère ses sommeils. Plus juste, Zeuthen disait, en 1878 même, au Professeur Philippe Gilbert : « Tous les géomètres de » l'Europe sont des disciples de M. Chasles », et ce mot reste l'expression de la vérité. Il est vrai que le trop ardent géomètre avait eu tort en 1864 de s'avancer à la découverte, muni de la seule Géométrie pure, dans un terrain que la Théorie des fonc-

tions algébriques n'avait pas encore déblayé ; mais même vingt ans plus tard, cette Théorie était encore science fort nouvelle. « Il fallait l'attendre, disait Halphen, et adapter à ses découvertes » les formes de la Géométrie. » Le savant vieillard n'avait ni la patience ni le temps d'attendre.

Pour sa part, c'est à cette adaptation de la Géométrie aux découvertes de la Théorie des fonctions qu'Halphen se consacra dès 1873, en faisant porter ses travaux sur l'étude des « points singuliers ».

3. *Théorie générale des Courbes algébriques* (1874-1877). — Dans cette étude des points singuliers, Halphen rendit de grands services à la fois à l'Analyse et à la Géométrie (1). En Analyse, cette étude se rattache à la Théorie des fonctions algébriques, où elle applique les principes de Puiseux, et à la Théorie des transcendantes abéliennes ; en Géométrie, elle donnera, entre les mains d'Halphen, des théorèmes d'une simplicité et d'une beauté parfaites, — par exemple, celui-ci, qui ouvre la série : Une courbe plane quelconque peut être considérée comme la perspective d'une courbe gauche admettant un point singulier unique et dont les branches, en ce point, ont toutes des tangentes séparées. — Dès 1874, Halphen présenta à l'Institut un grand Mémoire *Sur les points singuliers des courbes gauches*, que l'Institut inséra dans le Recueil des Mémoires des Savants étrangers (t. XXVI) : il ne consacra pas moins de quinze autres Mémoires à ces mêmes questions. Faut-il rappeler que la nature intime d'une fonction se caractérise par ce qu'on appelle les *singularités* de cette fonction, et que, par conséquent, les propriétés des courbes et des fonctions se rattachent essentiellement à la théorie des points singuliers ? Maître de cette théorie des points singuliers pour les courbes du plan et ayant résolu, entre autres problèmes, le problème de la détermination sur une courbe algébrique du nombre des points qui satisfont à une

(1) Poincaré énonce en ces termes le problème souverainement ardu qu'Halphen parvint à résoudre : « Étant donnée une courbe algébrique présen- » tant des singularités quelconques, la transformer en une courbe n'ayant que » des points multiples à tangentes séparées. C'était là, en même temps, résoudre » un problème indispensable pour la Théorie des fonctions abéliennes et com- » pléter l'étude des points singuliers, qui se trouvaient ainsi résolus en singu- » larités ordinaires. » Parmi l'infinité de solutions que comporte ce problème, les solutions découvertes par Halphen se distinguèrent « par leur élégance, » leur simplicité et leur caractère géométrique ».

condition exprimée par une équation différentielle algébrique, il aborda l'application de ses résultats à la Géométrie de l'espace (1876). Déjà ses efforts se couronnaient de succès, quand d'autres recherches l'empêchèrent de poursuivre la voie nouvelle et abstruse qu'il venait d'ouvrir. — En 1882, il composa lui-même un résumé de sa Théorie générale des points singuliers, perfectionnée encore en divers endroits, et en fit un heureux Appendice de 140 pages à l'édition française de la *Géométrie analytique* de Salmon (1).

4. *Classification des courbes gauches algébriques* (1870-1882). — Nous avons dit plus haut qu'il consigna dès 1870 les résultats de ses recherches sur cet objet dans un Mémoire qui fut couronné douze ans plus tard par l'Académie de Berlin.

5. *La Théorie des Invariants différentiels* (1878-1885). — La science mathématique a pour objet l'étude des transformations de diverse nature : en Géométrie, transformation des figures ; en Analyse, transformation des formules. Elle doit donc rechercher quels sont les éléments qui, dans ces transformations, restent constants et inaltérés. Or, les propriétés des êtres mathématiques, soit formules, soit figures, sont de deux sortes : les unes sont individuelles et dans un même groupe diffèrent, si l'on passe d'un individu à un autre ; les autres sont communes à tous les êtres d'une même famille. L'objet des Mathématiques est donc l'étude des groupes et, par conséquent, la recherche des « invariants ». Par exemple, si l'on fait subir à des variables d'une forme algébrique donnée certaines « substitutions», il y a des quantités qui dépendent de ces variables, sans en être forcément des fonctions, et qui restent les mêmes après ces substitutions : on dit que ce sont des *invariants ;* ainsi, le genre d'une courbe plane, mais non, en général, le degré ni la classe de la courbe, est un invariant relativement aux substitutions rationnelles (2) : ce théorème de la conservation du genre, entrevu par

(1) Cette traduction, par O. Chemin, de l'ouvrage anglais, a été publiée en 1884 à Paris, chez Gauthier-Villars.

(2) L'*ordre* d'une courbe plane est le nombre total de ses points d'intersection avec une droite quelconque, ou encore le degré de son équation en coordonnées rectilignes. La *classe* d'une courbe plane est le nombre total des tangentes que l'on peut mener à la courbe d'un point quelconque, ou encore le degré de son équation en coordonnées tangentielles. Le *degré* d'une courbe plane est l'excès du nombre maximum de points doubles que comporte son ordre sur le nombre de points doubles qu'elle possède en réalité.

Riemann, a reçu d'Halphen son énoncé précis et sa démonstration.

Halphen a introduit dans la Science la notion des *invariants différentiels* projectifs : il en a fait la théorie très complète, qu'il a assise sur des fondements définitifs. Cette théorie s'est montrée, entre ses mains, d'une immédiate et imprévue fécondité pour l'étude des courbes soit planes, soit gauches. On sait que la *Géométrie différentielle* ou *infinitésimale* étudie les propriétés des figures géométriques dans le tout prochain voisinage d'un de leurs éléments. Ainsi, elle envisage la tangente à une courbe comme la droite qui joint un point de cette courbe à un point infiniment voisin ; le cercle osculateur est le cercle qui passe par trois points de la courbe infiniment voisins ; la demi-quadrique osculatrice à une surface réglée est déterminée par trois génératrices infiniment voisines entre elles. On comprend que la recherche des points d'une courbe algébrique qui satisfont à une condition exprimée par une équation différentielle donnée, se présente en Géométrie dans divers cas ; par exemple, dans la recherche des points d'inflexion. Halphen, étudiant le groupe des substitutions linéaires, c'est-à-dire des changements projectifs des coordonnées, rencontra certaines fonctions des dérivées de ces coordonnées que ces substitutions laissaient inaltérées : il les appela du nom d'*invariants différentiels*. L'étude de ce nouveau genre d'invariance fit l'objet d'une Thèse qu'il présenta en 1878 à la Faculté des Sciences et qui lui obtint le grade de Docteur (*Œuvres*, t. II, pp. 198-253).

La notion d'invariance avait renouvelé l'Algèbre et la Géométrie analytique : elle renouvela bientôt le Calcul différentiel et le Calcul intégral.

L'idée d'étendre le concept des invariants aux équations différentielles avait été entrevue par d'autres qu'Halphen : on doit ici nommer Laguerre et Brioschi ; mais, observe Brioschi lui-même, Halphen montra le premier la fécondité, dans une étude systématique des équations différentielles, de cette idée heureuse. Son œuvre, à cet égard, comporte une quinzaine de Mémoires, où il s'est montré, au témoignage de Brioschi lui-même, un initiateur et où il a été un créateur de méthodes nouvelles. Nous ne parlerons ici que d'un seul de ces travaux, le *Mémoire sur la réduction des équations différentielles aux formes intégrables*, qui remporta en 1880 le Grand Prix des Sciences mathématiques. L'Académie des Sciences venait de mettre au concours, pour le Grand Prix, le problème de l'intégration des

équations linéaires. Halphen s'était hâté de prendre part au concours. Hermite, rédigeant son Rapport officiel, formula toute son admiration pour le Mémoire que nous venons d'indiquer : Avec un talent mathématique de l'ordre le plus élevé, disait ce juge éminent, l'auteur du Mémoire donne la complète et générale solution de questions aussi importantes que difficiles, et les notions d'invariants, empruntées à l'Algèbre et introduites dans cette recherche de Calcul intégral, « font apparaître les » éléments cachés dont dépend, sous ses diverses formes analy- » tiques, l'intégration d'une équation donnée ». Poincaré, dans sa Notice sur Halphen, se plaît à son tour à proclamer que l'œuvre présentée en 1880 par Halphen au jugement de l'Académie était de tout point parfaite et digne de la haute récompense qu'elle obtint. Mais Poincaré oublie de rappeler, à propos de ce Concours, un mémorable incident : c'est que le Mémoire n° 1, portant pour épigraphe *C'est ici un Livre de bonne foi, Lecteur*, et qui était celui d'Halphen, avait pour concurrent un Mémoire, n° 2, portant pour devise *Non inultus premor*, et Hermite, dans son Rapport, invita pressamment l'auteur anonyme du Mémoire n° 2 à persévérer dans une voie qui s'annonçait on ne peut plus féconde. Or, *Non inultus premor* est la fière devise de Nancy, et l'auteur n'était autre que Henri Poincaré lui-même. Le Mémoire n° 2 n'était qu'une ébauche : le jeune savant lorrain, pressé par le temps, n'avait voulu, semble-t-il, que faire prendre date à ses premiers résultats. C'était le premier jet d'une découverte qui devait demander à son auteur quelques mois encore : elle éclatera en février 1881. L'œuvre splendide, dont ce Mémoire était comme l'annonce, allait, durant tout le cours des années 1881 et 1882, concentrer l'admiration croissante des Mathématiciens sur le plus puissant chercheur de son époque : nous voulons dire la découverte des fonctions fuchsiennes et l'application de ces transcendantes à l'intégration des équations différentielles linéaires à coefficients algébriques. — En attendant, le Mémoire d'Halphen, où déjà les belles découvertes de Fuchs servaient de base à de très difficiles travaux, restait au premier rang. Il conserva, du reste, la haute importance que lui assurent ses méthodes générales et ses remarquables résultats. Halphen poursuivit dans des Mémoires ultérieurs ces recherches, si bien inaugurées.

6. *Fonctions elliptiques* (1879-1889). — Ces fonctions occupèrent la pensée d'Halphen pendant les dix dernières années de

sa vie. En 1879 et 1884, une dizaine de Mémoires montrent combien il s'est assimilé l'œuvre de Legendre, de Jacobi et les travaux de Weierstrass et d'Hermite : tantôt il approfondit et perfectionne la théorie de ces transcendantes, tantôt il l'applique soit à l'étude des équations différentielles ou à l'analyse de certaines courbes, soit à des problèmes de Mécanique. A partir de son élection à l'Académie des Sciences, en mars 1886, Halphen consacre aux fonctions elliptiques son activité tout entière. On assiste, selon l'expression de Jordan, à une dernière évolution de son esprit. Ses Mémoires deviennent rares : l'Académie, qui vient de lui ouvrir ses portes, s'étonne de cet arrêt dans sa production, mais bientôt elle apprend qu'il se livre à une plus importante besogne. Il veut doter la Science d'un vaste et complet *Traité des Fonctions elliptiques et de leurs applications*, au courant des progrès derniers, et qui soit écrit non plus pour les mathématiciens purs, mais pour les hommes de science qui, sans être analystes, ont besoin des sciences exactes. L'œuvre, très didactique, et puissamment originale, dépassa l'attente des géomètres. D'unanimes éloges accueillirent les deux premiers volumes, parus coup sur coup dès 1886 et 1888 : l'un était consacré à la théorie générale et aux développements en séries ; l'autre traitait des applications à la Mécanique, à la Physique, à la Géodésie, à la Géométrie et au Calcul intégral, et dans ce second volume, chacun des chapitres constitue, au jugement de Poincaré, un véritable Mémoire original : « Tantôt l'auteur a » tout à y créer, tantôt il renouvelle la question par un mode » nouveau d'exposition. » Ici même, M. Maurice d'Ocagne présenta aux lecteurs de la Revue, en octobre 1886, le Tome I de l'ouvrage : il rendit hommage à cette œuvre magistrale, destinée à faire date. Le troisième et dernier Tome, réservé aux applications algébriques et arithmétiques, devait, hélas ! être posthume (1891). Les deux premiers chapitres sont seuls de la rédaction de l'auteur (1) ; les chapitres suivants ne sont que l'assemblage de fragments retrouvés parmi ses papiers, — *Pendent opera interrupta,* — mais ces fragments sont excellemment coordonnés par

(1) Les derniers travaux publiés par Halphen et que l'on retrouve en ce Tome III, sont un Mémoire qu'il donna en 1889 au Journal de Liouville, *Sur la multiplication complexe des Fonctions elliptiques*, — « une des plus » belles découvertes d'Abel, » dit-il, — découverte développée et étendue par Kronecker (1857) et par Hermite (1859), et une Note qu'il présenta à l'Académie, le 11 mars 1889, *Sur la résolvante de Galois dans la division des périodes elliptiques par 7.*

les savantes mains de Stieltjes, et tous portent la forte et belle empreinte de l'esprit clair et pénétrant d'Halphen. A trente ans de distance, le Traité d'Halphen reste considéré en France comme une œuvre de haute valeur. Sans doute, les étudiants lui préfèrent des ouvrages plus élémentaires, composés pour eux depuis. Au surplus, la Théorie des fonctions elliptiques est loin d'avoir conquis, dans l'enseignement supérieur, la large place que lui rêvaient les savants de la génération d'Halphen ; à l'École Polytechnique notamment, elle s'est vue supplantée par d'autres Théories mathématiques, qui intéressent plus directement le progrès des Sciences physiques, telles que les séries de Fourier et les équations aux dérivées partielles. Mais le Traité d'Halphen reste, pour qui trouve le temps de l'étudier, le guide excellemment sûr et digne des éloges dont Halphen le vit salué à son apparition.

En dehors des travaux qui se groupent dans les six classes que nous avons énumérées, Halphen n'a cessé de donner aux recueils académiques et aux journaux de Mathématiques, d'autres Mémoires et articles souvent de grande valeur. Nous en remarquons six relatifs à la Théorie des nombres et huit relatifs à la Théorie des séries, et rien n'est plus merveilleux que ses découvertes dans la Théorie de la série d'Abel ; les autres, — une trentaine, — concernent des questions spéciales diverses, d'Analyse, de Géométrie, de Mécanique rationnelle et de Mécanique céleste. Parmi « ces hors-d'œuvre, qui suffiraient à asseoir la répu- » tation d'un mathématicien non qualifié par les géniales décou- » vertes d'un Halphen », — l'appréciation est de M. d'Ocagne (1), — on peut signaler, avec le même M. d'Ocagne, la très ingénieuse démonstration d'une remarque de M. Picard relative aux lignes asymptotiques des surfaces gauches douées de deux génératrices rectilignes et l'élégante solution du problème de Joseph Bertrand concernant les lois de Kepler (2).

(1) M. d'Ocagne a publié dans la Revue générale des Sciences (1917, I, p. 186, et 1919, I, p. 251), avec le talent et l'autorité que l'on sait, deux articles sur les Tomes I et II des *Œuvres* d'Halphen.

(2) Le recueil des *Œuvres* d'Halphen nous présente ses travaux dans l'ordre de leur publication : le Tome I comprend les travaux des années 1864 à 1876 ; le Tome II ceux des années 1877 à 1882, excepté le Mémoire couronné en 1881 par l'Académie des Sciences, qui est reporté, à cause de son étendue, au Tome suivant ; le Tome III contiendra sans doute les travaux des années restantes, 1883 à 1889. Nous espérons que ce volume dernier se terminera par une Table générale de toute l'œuvre d'Halphen, où ses écrits

Avant de prendre congé de l'ouvrier dont nous venons de décrire l'œuvre excellente, il nous reste à dire quelles furent les dernières années de sa laborieuse carrière.

Répétiteur d'Analyse à l'École Polytechnique de 1873 à 1886, il ne vécut durant cette période que pour l'enseignement et pour la Science. En 1884, il fut chargé, en outre, des fonctions d'Examinateur d'admission. L'examen des candidats à cette grande École nationale est une œuvre difficile. Il s'agit de découvrir, dans le peu de temps que comporte l'interrogation de chacun de ces innombrables jeunes gens, la véritable valeur de chacun, « sous le vernis uniforme dû à l'art des préparateurs » ; de mesurer le degré de science qu'il possède et de quels efforts il sera plus tard capable ; puis d'enfermer ses appréciations en de simples chiffres, qui opéreront mathématiquement la sélection finale, car très grand est le nombre des aspirants, mais petit est le nombre limité des élus. Ajoutons qu'il convient que l'Examinateur, au cours de ses interrogations, rende évidentes aux yeux du public, admis à assister aux examens et prompt aux partiales illusions, la faiblesse et la force de l'esprit qu'il éprouve. Succédant en ces fonctions d'Examinateur d'admission à l'éminent géomètre Edmond Laguerre, son collègue à l'École Polytechnique et à l'Artillerie et son confrère à l'Académie (1), Halphen s'acquitta de sa charge avec tant de délicatesse et de pénétration, tant de loyauté et de talent, qu'il laissa le souvenir d'un « Examinateur incomparable » (2).

En l'année 1886, Halphen était dans la plénitude de son talent et de sa puissance de production. Sa réception à l'Académie des Sciences et des témoignages unanimes venus de l'étranger comme de la France établissaient l'estime des savants de tous pays pour sa haute science et pour ses remarquables qualités. A l'École Polytechnique, qu'il n'avait cessé depuis quatorze ans de servir et d'illustrer, on appréciait la noblesse et la loyauté de

seront groupés suivant leur matière, comme cela a été fait par Guccia (JOURNAL DE LIOUVILLE, 1889, pp. 352-359), ce qui facilitera singulièrement l'utilisation de ce recueil précieux.

(1) Laguerre mourut le 13 août 1886, à Bar-le-Duc. A ses obsèques, on entendit deux discours, l'un de Joseph Bertrand, au nom de l'Académie, l'autre d'Halphen, au nom de l'École Polytechnique : on peut les lire dans les NOUVELLES ANNALES DE MATHÉMATIQUES, 1886, pp. 494-496.

(2) « Enchaînant ses questions avec une grande habileté, il parcourait » sans effort le cycle entier du programme et il a laissé le souvenir d'un » Examinateur incomparable. » É. Picard, *Notice sur Halphen*.

son caractère, aussi bien que la sûreté de son amitié ; les circonstances pouvaient lui amener, d'un jour à l'autre, dans l'enseignement un avancement que tous désiraient pour lui. Mais Halphen était à la fois un savant et un soldat, il aimait l'École et il aimait l'Armée, et la passion de la Science n'avait jamais étouffé chez lui le goût de la vie militaire. En octobre de cette année, il obtint de quitter l'École Polytechnique et de reprendre à l'Armée son service actif. Promu depuis deux ans au grade de Chef d'escadron, il fut envoyé à Versailles pour y commander les batteries du 11e régiment d'Artillerie.

Ce goût prononcé de la vie de soldat et le désir d'y retremper pendant quelques années ses forces physiques, qui commençaient à ne plus s'accommoder de son labeur intellectuel trop intense et trop continu, furent-ils les seuls motifs de son départ de l'École ? Peut-être, mais il nous revient en souvenir qu'à cette époque, — à la fin de l'année 1886, — les officiers de l'Armée française, comme de l'Armée belge, étaient assaillis de patriotiques préoccupations : l'atmosphère politique de l'Europe était devenue soudainement très lourde. L'horizon se chargeait d'orage, du côté de l'Est (1). L'Allemagne se montrait inquiète de voir la France se relever trop rapidement et trop bien de ses désastres de 1870. Guillaume Ier semblait près de disparaître de la scène : le début du règne nouveau n'allait-il pas donner le signal de l'explosion ? Quoi qu'il en ait été de ses arrière-pensées, lorsqu'il reprit son poste à l'Artillerie, nous pouvons saluer en ce Commandant Halphen, un de ces nombreux et admirables officiers supérieurs, à l'âme et aux qualités très françaises, dont la haute intelligence et l'incessant effort surent donner dès cette époque à la France une organisation militaire très redoutable : les voisins de l'Est durent préparer trente ans encore leur attaque.

La carrière d'Halphen ne devait pas être longue. Durant deux ans et demi, il sut concilier avec ses devoirs militaires son zèle

(1) Dans la *Correspondance entre Léopold II et Auguste Bernaert (1884-1894)*, que vient de publier le Professeur Van der Smissen, on lit avec un intérêt infini l'échange de réflexions qui se fit, à l'époque dont nous parlons, entre le souverain et son ministre. Le Roi déclare de son devoir de prêter une oreille attentive aux avertissements qui lui viennent de Berlin et de Paris, et de prendre ses dispositions : on l'invite « à défendre les routes militaires » qui passent en Belgique ». Il y a lieu, notamment, de discuter le problème de la défense des positions de Visé et de Saint-Trond. On lira volontiers la lettre du 17 janvier 1887. Ces pressantes lettres de Léopold II et la collaboration du Roi et de Beernaert aboutirent bientôt à la mise sur pied définitive du projet de fortification de la Meuse.

pour la Science. Malgré son éloignement de Paris, il fut assidu aux séances de l'Académie des Sciences ; il continua de s'intéresser aux choses de l'École Polytechnique et se vit nommer membre du Conseil de perfectionnement de cette École. Sans rien retrancher au temps et aux soins qu'il consacrait à ses occupations professionnelles, il réserva ses instants de loisir et trop souvent de nombreuses heures de ses nuits à ses études scientifiques. Il acheva de rédiger et publia le Tome II de son *Traité des Fonctions elliptiques* et approfondit son étude des théories abstruses qu'il réservait au Tome III. Mais l'organisme humain a une puissance de travail limitée. Le 11 mars 1889, il présenta à l'Académie une Note sur la division des périodes elliptiques ; peu de semaines plus tard, sa santé s'ébranla et le 21 mai 1889, au moment où il allait être promu au grade de lieutenant-colonel d'Artillerie, la mort, hâtée par ces travaux excessifs de l'officier et du savant, venait le frapper prématurément et presque soudainement. Georges Halphen n'avait point quarante-cinq ans.

L'un des fils de Georges Halphen, unissant comme lui la passion des armes et l'amour de la Science, a collaboré à l'édition des *Œuvres* de son père que nous présentons au lecteur. La guerre allemande interrompit cette collaboration, que la piété filiale lui rendait chère, et le 15 mai 1915 Charles Halphen fut glorieusement tué à l'ennemi, à Neuville-Saint-Vaast.

Le fils était digne du père. Tout en regrettant qu'ils n'aient pas été des nôtres par les croyances religieuses, nous saluons volontiers leur mémoire : ils ont été l'un et l'autre des hommes de science et des hommes de devoir.

Le rôle que les travaux d'Halphen ont joué dans l'avancement de l'Analyse et de la Géométrie, tend à cesser. Trente ans durant, d'autres ouvriers, vaillants et hardis, ont continué d'élever l'harmonieux et superbe édifice. Aux regards de la génération présente, l'œuvre d'Halphen apparaît déjà à plusieurs comme un monument du passé ; mais elle mérite que l'on revienne parfois l'étudier et que l'on se modèle sur elle, car elle appartient aux parties de la Mathématique les mieux construites, les plus achevées et où, en plusieurs places, il n'y a plus à toucher. François Bacon a dit : *Multi transibunt, sed augebitur Scientia.* Incessant est le providentiel progrès de la Science : les savants passent, mais la Science reste et grandit.

B. Lefebvre, S. J.

IV

LES MÉDICATIONS PSYCHOLOGIQUES

D'APRÈS LE

Dr PIERRE JANET (1)

Il est fort heureux que la plupart des névropathes n'aient pas le caprice ni les moyens, avant d'adopter un traitement, de consulter un bien grand nombre de guérisseurs attitrés ; et nous entendons seulement des guérisseurs honnêtes.

Sans doute, nul n'enverrait plus ces malades porter, comme dans les temps antiques, leur offrande et leur espoir aux pieds du dieu de la santé, dans quelque « Asclépieion » à la mode (2) : et probablement même aucun conseiller sérieux ne les convierait plus, comme il arriva si souvent durant la première moitié du XIXe siècle, à faire la chaîne autour d'un mystérieux « baquet magnétique » — moderne avatar des médications thaumaturgiques de l'antiquité — ou bien à se pâmer sous les « fluides » enveloppants d'un hypnotiseur d'occasion. En général, la foi dans les thérapeutiques du « mystère » est en baisse : nos médecins contemporains n'ajouteraient pas à leur crédit en s'affublant, tel jadis Mesmer, « d'une longue robe de soie lilas clair », non plus qu'en multipliant sur leurs malades les passes bizarres et compliquées des premiers magnétiseurs.

(1) Dr Pierre Janet, membre de l'Institut, professeur de psychologie au Collège de France. *Les Médications psychologiques. Études historiques, psychologiques et cliniques sur les méthodes de la psychothérapie.* Tome I : *L'action morale, l'utilisation de l'automatisme*, in-8°, 346 pages. Tome II : *Les économies psychologiques*, in-8°, 307 pages. Tome III : *Les acquisitions psychologiques*, in-8°, 494 pages, avec table onomastique et table alphabétique générales. Éditeur Félix Alcan, Paris, 1919.

(2) Nous ne parlerons pas ici des effets que peut avoir la prière chrétienne pour la guérison des corps ; car il y intervient trop d'éléments extra-médicaux : et il serait vraiment un peu simple d'assimiler en bloc, comme semble le faire M. Pierre Janet, le temple d'Épidaure et la grotte de Lourdes. Nous ne parlerons pas davantage de la psychothérapie inconsciente qui peut se dissimuler sous des superstitions de bas étage ou bien sous des pratiques purement charlatanesques.

Nous nous glorifions volontiers, aujourd'hui, de discerner, sous les procédés anciens de cure, certains facteurs élémentaires, réellement agissants, noyés dans un contexte fantaisiste qui les faisait méconnaître ; et nous expliquons par eux le succès quelquefois éclatant de pratiques souvent étranges, sinon absurdes. Malgré cet incontestable progrès de notre esprit critique, la situation présente de la médecine mentale n'offre peut-être pas de quoi tellement nous enorgueillir. Que d'incertitudes encore dans le traitement des névroses !

Voici un névropathe, dont la psychasthénie a résisté aussi bien aux régimes végétariens qu'à l'intoxication par les viandes et les toniques. A qui l'adresserons-nous ?

Nous avons littéralement l'embarras du choix.

S'il ose s'aventurer jusqu'à ces frontières brumeuses, où l'art médical confine à une vague philosophie et à une très vague religiosité, il rencontrera les adeptes diplômés de la « Christian Science », qui lui assureront, souffrît-il d'un ulcère d'estomac, qu'il n'a nul besoin de cure, attendu que le mal physique n'est rien, pas plus que le corps et la matière ; la mort même, la suprême maladie, n'est qu'une illusion de nos yeux obscurcis.

Peut-être notre malade ne sent-il qu'une médiocre appétence pour cette mixture approximative et confuse d'éléatisme et de stoïcisme, baptisée, on ne sait pourquoi, d'un nom chrétien. En ce cas, jetons-le dans les bras respectables de la « New Thought » : là, du moins, il n'entendra point nier la réalité du corps et du mal physique ; on soignera même ses bobos organiques ; mais il écoutera les discours persuasifs de professeurs d'Université et de médecins authentiques lui répétant à satiété « qu'on ne guérit point le corps par le corps, mais le corps par l'âme ».

Si la perversité de notre mauvais sujet le rend insensible à cette moralisation un peu imprécise et ondoyante, rembarquons-le vite pour l'Europe (car, faut-il le dire ? la *Christian Science* et la *New Thought* sont écloses, en liberté, sur le sol américain) ; à Berne, le Dr Dubois, avec sa belle confiance dans l'efficacité thérapeutique de la conviction rationnelle, le condamnera, pour la forme, à quelques jours de repos et de régime lacté, puis, dans un corps à corps vigoureux, démolira chez lui les idées fixes, dissipera les phobies, redressera les aboulies par des leçons familières de philosophie pratique.

N'est-ce point assez, et le malade s'obstine-t-il à ne pas mépriser « philosophiquement » sa fatigue ou ses manies ? Essayons

alors de l'amener à la clinique de Déjerine, à Paris : dans l'isolement du repos au lit, entre quatre rideaux constamment tirés, sous la répétition discrète d'entretiens moralisateurs et encourageants, il finira bien par se calmer et s'assagir.

Mais il arrive, hélas, que la guérison ne soit qu'apparente, et, selon la malicieuse insinuation du Dr Pierre Janet, marque seulement une instinctive réaction de défense contre l'ennui des rideaux clos. Que faire de notre aboulique, repris soudain par ses scrupules, par sa fatigue, par ses phobies de l'action, que sais-je ?

Heureusement, il existe encore, à Paris et ailleurs, de bons Docteurs compatissants, qui croient à la réalité *physiologique* de la fatigue des névropathes : le Dr Deschamps, par exemple, lequel, à l'imitation de Weir Mitchell (dont on connaît les cures fameuses, et déjà surannées, de repos et de suralimentation), diagnostique volontiers l' « asthénie » vraie. D'après lui, notre malade reste, certes, capable d'un sursaut momentané d'activité, mais il manque d'une « réserve d'énergie » : c'est un « asthénique ». Et s'il est un véritable « asthénique », on aura beau, comme le Dr Dubois, lui prêcher de mépriser sa fatigue : on n'aboutira qu'à l'épuiser davantage. Repos donc, mais sans le gavage de Weir Mitchell et sans la claustration excessive de Déjerine; repos, c'est-à-dire économie de forces, à l'effet, soit de lui reconstituer un capital énergétique disponible, soit du moins de maintenir l'équilibre entre son avoir et ses dépenses.

La théorie du Dr Deschamps prévoit, sagement, qu'en certains cas la cure modérée et raisonnable par le repos pourra s'éterniser. Si notre névropathe n'est point un de ces sujets d'élection qui font la gloire des « Cliniques » et la réclame vivante des « Traitements », il se lassera peut-être de progrès trop imperceptibles, et — le pauvre — se remettra en quête de remèdes plus puissamment efficaces. Le voilà de nouveau livré à ses phobies, à ses impuissances, à ses hésitations, à ses paresthésies, à ses contractures, à ses tics. Espérons qu'en cette heure critique, il aura la bonne fortune de passer devant la porte du Dr Meige ou du Dr Lagrange, qui réussiront peut-être, grâce à leurs procédés de rééducation physique, à le débarrasser de ses tics moteurs et de ses attitudes « désharmoniques ». Ce succès partiel pourrait devenir l'amorce d'une guérison plus complète : la rééducation motrice inaugurerait alors une de ces cures de rééducation intégrale des fonctions psychiques, telles qu'en

pratiquent aujourd'hui, avec plus ou moins de méthode, tant de psychothérapeutes des deux continents. Pour n'en citer qu'un exemple, les partisans les plus éclairés de la *New Thought*, dont nous parlions tout à l'heure, s'orientent de plus en plus vers les systèmes de « psychical training », ou, selon l'expression de Morton Prince, le médecin-psychologue bien connu, d' « educational treatment ».

Mais si le patient se montrait « inéducable » ? Oh ! nous ne sommes pas encore à bout de ressources. Puisque ses facultés supérieures refusent leur collaboration à la cure, essayons d'ébranler son « automatisme ». La difficulté sera peut-être de trouver actuellement un médecin qui consente au rôle d'hypnotiseur, depuis qu'un bon nombre de collègues, avec une exagération qui procède de sentiments louables, ont jugé ce rôle offensant pour la dignité du médecin non moins que du client : tout au plus se résignera-t-on à combattre par la suggestion hypnotique deux ou trois symptômes particuliers. Et il ne servira de rien de nous adresser à Nancy : sous l'influence de ce rigorisme de fraîche date, le Dr Bernheim lui-même renie la « suggestion » comme traitement spécifique des névroses, pour se rallier à la « persuasion » plus ou moins rationnelle. Toutefois, en cherchant bien, il se découvrirait encore, par ci par là, quelques fidèles — un peu tièdes, il est vrai — de l'hypnose guérisseuse, soit que, à l'instar du docteur suédois Wetterstrand, ils la mettent au service d'une cure de repos, soit même que, conformément à l'orthodoxie d'hier, ils fassent de la suggestion hypnotique l'essentiel du traitement.

Mais, outre que la « suggestion » guérit beaucoup moins qu'autrefois — si étrange que la chose paraisse aux non-initiés, la statistique, ici comme ailleurs, « ... souvent varie : bien fol est qui s'y fie », — il faut avouer qu'elle s'attaque avec plus de succès aux symptômes isolés qu'au terrain même où ils éclosent : facilement, une manifestation morbide, refoulée ou désagrégée, fera place à un trouble nouveau... qui ne sera pas toujours plus bénin.

Il se peut donc que notre névropathe, guéri — supposons-le — d'agoraphobie, voie maintenant se développer une impulsion à gagner la rue par les fenêtres d'un troisième étage. Que faire ? En cette extrémité, la « psychoanalyse » lui tend une planche de salut.

On sait combien les partisans de la méthode psychoanalytique

du Dr Sigismond Freud (de Vienne) ont pullulé ces dernières années, surtout dans les pays de langue germanique ou anglaise. Le terrain belge ou français leur fut moins hospitalier ; et, du reste, ils rencontrèrent partout, dans la majeure partie du corps médical, une résistance très vive, parfaitement justifiée selon nous (1).

Voici donc notre protégé se raccrochant désespérément à la planche secourable que lui tend un disciple de Freud. Le « freudiste », il faut le dire à sa louange, ne sera nullement déconcerté par l'échec successif des médications qu'a tentées son client : elles devaient échouer, n'étant que des palliatifs très superficiels ; la racine du mal n'a jamais été extirpée. Et quelle est cette racine du mal ? Dans les psychonévroses, nous affirme-t-on, c'est toujours un « souvenir traumatique », c'est-à-dire, pour préciser davantage, la trace consciente ou inconsciente d'une circonstance émotionnante intérieure ou extérieure, sexuelle au sens large, à laquelle le malade fut mêlé activement ou passivement dans sa première enfance. Dès l'éveil de la conscience morale et sociale, ce souvenir fâcheux aurait été « refoulé » dans la subconscience, et là, soumis à une compression anormale, serait devenu la source latente des troubles névropathiques les plus divers. Ces contre-coups fâcheux ne sont pas le seul indice qui trahisse la présence d'un « souvenir traumatique » : celui-ci se manifesterait en outre, symboliquement, dans le jeu automatique de la conscience, par exemple dans l'association libre des idées ; dans l'invention artistique ; dans les méprises, « lapsus » et menus accidents semblables ; dans les rêves surtout, etc. Dépister le souvenir traumatique et le « liquider », c'est-à-dire

(1) L'œuvre du Professeur Freud est très mêlée. Elle contient des éléments psychologiques de grande valeur et jette des lueurs inattendues, encore un peu fumeuses toutefois, sur le développement de la subconscience. Au point de vue clinique, nous jugeons la méthode psychoanalytique, telle qu'elle est pratiquée par les « freudistes » fervents, réellement dangereuse pour les malades, non seulement à cause du manque de doigté de certains médecins qui l'appliquent — Freud lui-même dut protester contre la « wilde Psychoanalysis » de disciples intempérants — mais à cause des insuffisances de la méthode elle-même. Une couple d'années avant la guerre, nous eûmes l'occasion, au cours d'un voyage d'études à l'étranger, d'interroger à ce sujet un certain nombre de psychiâtres éminents : leur avis presque unanime fut nettement défavorable à la méthode nouvelle, et même parfois, devant des cas malheureux, se teintait d'une honnête indignation qui fait le plus grand honneur à leur conscience professionnelle. Depuis, l'expérience a montré de mieux en mieux combien cette défiance était légitime.

le rattacher à l'émotivité normale du patient, voilà la cure radicale, mais affreusement indiscrète, que croira devoir entreprendre le « psychoanalyste ». Encore, si cette « méthode de liquidation morale » n'était qu'indiscrète : malheureusement, à raison du terrain spécial où elle se meut, elle devient aisément malsaine et dommageable ; sans compter que les procédés mêmes d'interprétation symbolique, dont elle abuse, l'entraînent, comme on sait, aux plus ahurissantes fantaisies.

Tout compte fait, bien que la psychoanalyse convienne à un certain nombre de cas et puisse revendiquer quelques succès, nous ferons sagement, je crois — si nous nous intéressons à notre névropathe, dont la tête n'est déjà pas trop solide — de le soustraire aux interrogatoires subtils et à l'ingéniosité mythique de tout « freudiste » qui n'aurait pas abjuré les énormes exagérations de son école.

Rien n'empêche d'ailleurs de pratiquer, s'il y a lieu, et dans la mesure utile, la « liquidation morale », concurremment avec d'autres méthodes récentes, moins discutables que la psychoanalyse. Beaucoup de médecins, ces dernières années, ont décidément orienté la cure des troubles sensoriels et moteurs d'origine hystérique (ou pitiathique), et aussi les cures de « moralisation », de « direction », de « rééducation », dans le sens des tentatives fort intéressantes que M. Pierre Janet groupe sous le titre de « traitements par l'excitation ». Et ce n'est point sans raison. L'observation même des malades montre chez eux le contre-coup favorable de certaines excitations physiques et surtout morales, qui les relèvent à leurs propres yeux par l'irradiation tonifiante d'un effort couronné de succès. On utilisera cette circonstance heureuse, et l'on organisera, sous forme de traitement, une véritable exploitation progressive de l' « action » réussie. En fait, cette méthode, susceptible des applications les plus diverses, tantôt presque brutales et tantôt infiniment nuancées, s'est montrée très efficace sur les accidents hystériques de guerre ; et même elle aboutit parfois à guérir des psychasthénies invétérées. Pourquoi, néanmoins, dans ces derniers cas, échoue-t-elle plus souvent qu'elle ne réussit ? Probablement, diront ses partisans exclusifs, parce qu'elle est extrêmement délicate à manier : le moindre échec y prend les proportions d'un désastre ; condamnée à l'accumulation ininterrompue de succès partiels, elle exige, à chaque intervention, une appréciation très fine des forces réelles du malade et de sa bonne volonté probable.

Enfin, si notre neurasthénique demeure réfractaire à tant d'essais patients et ingénieux, si la direction dévouée des médecins les plus perspicaces ne porte pas en lui de fruits appréciables, il nous restera toujours — ce par quoi peut-être nous aurions dû commencer — à rechercher s'il ne présenterait pas des troubles physiologiques en connexion régulière avec les misères psychologiques dont il est affligé. « Il faut, pour guérir les névroses, disait M. Lewellys Barker (1906), tenir grand compte des processus locaux, des maladies des oreilles, des yeux, des vices de réfraction, des maladies des sinus, des maladies génito-urinaires, de la tuberculose, de l'artério-sclérose, de la syphilis, de l'alcoolisme, des formes frustes de la maladie de Graves, etc. ». (Cité par Janet, tome III, p. 301). Soulignons le « etc. », car il n'est peut-être pas une seule maladie qui ne puisse avoir son retentissement sur l'état névropathique. On ne contestera guère qu'une affection organique quelconque ne doive être à la base de toutes névroses et psychoses. La difficulté — disons mieux : l'impossibilité — est, actuellement encore, de rattacher à une cause somatique bien définie la constitution fondamentale du terrain névropathique, sur lequel se différencient les symptômes respectifs des diverses maladies mentales. Nous ne saisissons que des coïncidences et des contre-coups trop inconstants pour suggérer une théorie acceptable. En réalité, les troubles circulatoires sont particulièrement fréquents chez nos malades, comme aussi les intoxications gastro-intestinales et le déséquilibre des sécrétions internes. Ce dernier trouble, là où il est constaté, augure des succès faciles, car il se laisse rapidement compenser par l'administration d'extraits de glandes vasculaires. Aussi bien sommes-nous tenté de souhaiter au pauvre nerveux que nous venons de promener à travers les « cures » les plus disparates, de se ranger, finalement, parmi les « hypothyroïdiens » étudiés par les Drs Levy et de Rotschild, ou dans quelque groupe analogue : une bonne médication opothérapique le délivrerait heureusement de ses maux.

Il faut l'avouer : le tableau des « traitements psychologiques » aujourd'hui en usage ne laisse pas que de paraître assez touffu, et même un peu déconcertant. Le Dr Pierre Janet, avec son exceptionnelle autorité et sa longue expérience, mais non pas toujours, hélas ! avec sa meilleure plume, s'applique, dans ses trois volumes, à décrire, à classer et à critiquer l'ensemble des

méthodes de la psychothérapie. A chacun il s'efforce de rendre justice — avec une pointe de sévérité pour tels ou tels collègues méritants, bien que trop absolus, dont la pratique est souvent plus compréhensive que les théories : nous songeons, par exemple, au Dr Dubois (de Berne)... qui d'ailleurs ne fut pas lui-même beaucoup plus tendre pour le Dr Bernheim, le père de la « suggestion ». A cela près, le ton de l'ouvrage est calme et courtois, laissant paraître toutefois, devant les points de vue moraux et religieux, une affectation de neutralité bienveillante et supérieure, qui témoigne, nous n'en doutons pas, d'un souci d'impartialité, mais ne constitue pas pour cela, tant s'en faut, une garantie d'objectivité parfaite.

On lira avec intérêt, dans le *premier volume*, quelques études sur les précurseurs immédiats de la psychothérapie contemporaine, en particulier sur les premiers magnétiseurs, que l'auteur se plaît à réhabiliter, et sur cette étrange et peu sympathique Mrs Eddy, la fondatrice de la « Christian Science ».

Avec la seconde partie du premier volume, intitulée : « L'utilisation de l'automatisme », commence l'analyse critique des méthodes, qui fait le fond solide de tout l'ouvrage. M. Pierre Janet y reprend, de son point de vue particulier, le procès de l'*hypnotisme* et de la *suggestion :* il en marque la notion précise, et en dose l'emploi utile dans le traitement des névroses.

Le *second volume :* « Les économies psychologiques », poursuit l'enquête critique et passe en revue, pour en indiquer à la fois les avantages, les insuffisances et les écueils, trois grandes catégories de traitements : le *repos*, l'*isolement* et la *liquidation morale*. A propos de cette dernière, l'examen de la « psychoanalyse », consciencieusement mené, aboutit à des conclusions sévères sous leur forme modérée : elles rappellent au lecteur l'excellent petit livre de Régis et Hesnard sur le même sujet.

Le *troisième volume,* qui paraîtra à beaucoup de lecteurs le plus original de la série, aborde l'étude des méthodes « dynamiques », ou « dynamogéniques » de traitement : les *rééducations*, l'*esthésiogénie* et les cures par l'*excitation,* enfin la *direction morale*. Un chapitre instructif s'y intercale sur les *médications psycho-physiologiques*.

La pensée dominante de l'auteur nous paraît être la suivante.

Toutes ces méthodes, sans exception, mettent en œuvre des éléments thérapeutiques précieux ; mais elles pèchent *toutes* par

exclusivisme. La vraie psychothérapie doit être assez compréhensive pour ramasser et concentrer tous les moyens partiels d'influence. Or la première condition, pour effectuer un jour cette synthèse bienfaisante, serait de dépasser la psychopathologie purement descriptive, et d'aller découvrir la loi proprement dite selon laquelle les symptômes les plus divers procèdent d'une même disposition morbide fondamentale, ou, si l'on veut, surgissent d'un même terrain psychopathique. Alors seulement on aurait chance d'apercevoir clairement le rapport indirect de certains états organiques avec les symptômes spécifiques des différentes classes de maladies mentales.

Or, la portion psychologique de cette recherche est en voie d'exécution. Le Dr Pierre Janet, on le sait, a déjà par devers lui une œuvre importante, consacrée à mettre en lumière l'unité psychologique foncière des névroses. Rappelons seulement sa théorie de la « tension psychologique » et du « niveau mental » : peut-être trop verbale encore jusqu'ici, cette théorie semble devoir s'élargir par la considération plus attentive du rôle de l'émotion et de la tendance dans les fonctions de synthèse. Dirons-nous qu'elle soit presque achevée ? M. Pierre Janet protesterait le premier contre cet optimisme, mais il revendiquerait pour elle — ce qui est juste — le mérite d'avoir commencé à frayer la voie vers un but encore lointain. En attendant qu'on y atteigne, la psychothérapie demeurera forcément un peu hésitante et difficile à réduire en règles précises : elle ne cessera point d'être, pour une part, affaire de divination et de tact. L'ouvrage que nous analysons aura pour effet d'y combattre à la fois l'étroitesse de vues et le manque de mesure.

Terminons en citant, de l'auteur lui-même, ces lignes qui résument bien l'esprit de ses trois volumes :

« ... La psychothérapie est une application de la science psychologique au traitement des maladies » (P. Janet, ouvrage analysé, tome III, p. 464).

« Nous n'avons pas le droit de reprocher aux psychothérapeutes les défauts de leur méthode, ils se contentent d'appliquer une science, et les insuffisances de l'application montrent simplement les insuffisances de la science. Le diagnostic et la dénomination des troubles psychologiques sont très vagues et tout à fait livrés à l'arbitraire de conventions d'écoles » (Ibid., p. 465).

« C'est le sentiment de ces lacunes de la psychologie qui m'a poussé à insister dans cet ouvrage sur l'interprétation de cer-

taines notions psychologiques particulièrement importantes au point de vue de la thérapeutique » (Ibid., p. 469).

« En un mot, cet ouvrage, tout incomplet qu'il soit nécessairement aujourd'hui, essaye d'aborder un problème encore bien peu connu, le problème de l'administration économique des forces de l'esprit. Il est probable qu'un jour on saura établir le bilan et le budget d'un esprit, comme on établit ceux d'une maison de commerce. A ce moment, le médecin psychiâtre sera capable de bien utiliser de faibles ressources en évitant les dépenses inutiles et en dirigeant l'effort exactement au point nécessaire ; il fera mieux, il apprendra à ses malades à augmenter leurs ressources, à enrichir leur esprit. J'espère que ces travaux n'auront pas été tout à fait inutiles à ceux qui découvriront un jour les règles de cette bonne administration de la fortune psychologique » (Ibid., pp. 469-470).

J. Maréchal, S. J.

BIBLIOGRAPHIE

I

Lectures on the Theory of plane curves, delivered to Post-Graduate Students in the University of Calcutta, by Surendramohan Ganguli, M. Sc., Lecturer in pure mathematics. Deux vol. cart. (23 × 15), de x + 140 et xiii + 219 pages. — University of Calcutta, 1919.

Le premier volume, consacré à des théories générales, contient neuf chapitres : I Introduction ; II Propriétés générales ; théorie de la résiduation ; III Points singuliers ; IV Courbes polaires ; V Courbes covariantes ; la Hessienne ; VI Courbes réciproques ; VII Foyers ; VIII Triangle analytique ; asymptotes ; IX Systèmes de courbes. — Le second volume en contient onze, dont les six premiers se rapportent aux cubiques : X Propriétés diverses ; XI Propriétés harmoniques ; XII Formes canoniques ; XIII Cubiques unicursales ; XIV Cubiques spéciales ; XV Invariants et covariants. Les cinq derniers chapitres sont relatifs aux quartiques : XVI Propriétés diverses ; XVII Quartiques trinodales ; XVIII Quartiques bicirculaires ; XIX Cubiques circulaires formant avec la droite à l'infini des quartiques bicirculaires dégénérées ; XX Quartiques spéciales. Ce volume se termine par deux notes, l'une sur les quartiques bicirculaires et l'autre sur les quartiques trinodales. Cette dernière a été communiquée par A. C. Bose, Bahadur, M. A., Controller of Examinations.

Dans l'esprit de l'auteur, ce cours doit être considéré comme une simple introduction aux méthodes de la géométrie des courbes algébriques planes. Il ne suppose pas, de la part du lecteur, des connaissances très profondes d'analyse et de géométrie analytique. La préférence y est donnée aux méthodes géométriques, et les formes compliquées d'équations en sont soigneusement écartées. En tenant compte du but poursuivi, c'est, dans son ensemble, un bon travail, où l'étudiant, futur

géomètre, trouvera bon nombre de points de vue intéressants, bien faits pour captiver son imagination et le pousser à des études plus approfondies. Nous voudrions pouvoir parcourir tout l'ouvrage. Mais, faute de place, une seule partie retiendra notre attention : celle où il est question, au chapitre II, de la détermination des courbes par certains groupes de points. A première lecture, et cette impression nous est restée par la suite, nous avons trouvé que l'auteur ferait œuvre utile en remaniant complètement cette importante partie de son cours.

Il y aurait tout d'abord lieu de bien spécifier ce qu'on entend par un *groupe de points indépendants d'une courbe.* C'est une notion dont on a beaucoup usé et abusé. On peut dire qu'un groupe de $\alpha \leqslant \frac{1}{2} m(m+3)$ points distincts donnés sont indépendants (entre eux) en vue de la détermination d'une courbe C_m quand *aucun* point de ce groupe ne se trouve sur *toute* courbe d'ordre m passant par les $\alpha - 1$ points restants. Un groupe de $\frac{1}{2} m(m+3)$ points indépendants *détermine* ou *définit* une (seule) courbe C_m ; celle-ci peut être dégénérée. Certains éléments de ce groupe peuvent constituer des points non indépendants d'une courbe d'ordre $n < m$. Ainsi, quatre points en ligne droite, qui ne forment jamais que trois points indépendants d'une conique (dégénérée), peuvent néanmoins représenter, avec cinq nouveaux points, un ensemble de neuf éléments indépendants d'une cubique, dégénérée en l'espèce. D'autre part, trois points collinéaires constituent toujours autant de points indépendants d'une conique (dégénérée) et, quand on y ajoute six nouveaux points arbitrairement choisis, on obtient un groupe de neuf points généralement indépendants d'une cubique, dégénérée quelquefois, mais *en général irréductible.* Le n° 15 des LECTURES doit être revu dans ce sens.

Au n° 17 l'auteur *affirme* que parmi les mn intersections (isolées) de deux courbes Φ_m et Ψ_n, $\frac{1}{2} m(m+3)$ de ces points suffisent, quand $m < n$, à déterminer Φ_m. Qu'une *démonstration* soit nécessaire, résulte du fait que cet énoncé comporte des exceptions. On peut dire, par exemple : pour $m < n$, les mn intersections de Φ_m et Ψ_n comptent *toujours* pour $d = \frac{1}{2} m(m+3)$ points indépendants de Φ_m ; dans les conditions les plus générales, ces d éléments indépendants peuvent être pris d'une manière quelconque parmi les mn points ; dans certaines circonstances spéciales, ce choix n'est plus absolument arbitraire...

Au même numéro, l'auteur tend à établir que pour $n \leqslant m$, $\rho = nm - \frac{1}{2}(n-1)(n-2)$ des nm intersections de Φ_m et Ψ_n « déterminent » les $\delta = \frac{1}{2}(n-1)(n-2)$ intersections restantes (théorème de Jacobi-Plücker ; voir plus loin). La démonstration indiquée est insuffisante, le théorème devenant illusoire dans nombre de cas intéressants. Le cas particulier $m = n$ est traité d'une manière indépendante au n° 18. Pour essayer de démontrer que *toutes* les courbes χ_n d'ordre n qui passent par $\rho = \frac{1}{2}n(n+3) - 1$ intersections de deux courbes du même ordre Φ_n et Ψ_n, passent par les δ intersections restantes (théorème de Plücker, déjà entrevu par Euler et Cramer), l'auteur pose implicitement l'identité $\chi_n \equiv \Phi_n + k\Psi_n$, où k désigne une constante indéterminée. Mais la fonction χ_n ne se ramenant pas toujours à la forme du second membre, on peut trouver des systèmes (χ_n, Φ_n, Ψ_n) pour lesquels la courbe χ_n ne passe que par une partie des δ points ou même par aucun de ceux-ci...

Ainsi donc, le théorème de Plücker n'est pas rigoureusement établi et les diverses propositions que l'auteur en déduit aux n°s 19, 21, 22 et 23 prêtent à discussion. En fait, cependant, le théorème particulier du n° 21 et le théorème de Gergonne, donné au n° 22, ne comportent jamais d'exception. Quant aux théorèmes de Jacobi-Plücker (n° 19 ; voir ci-dessus) et de Cayley (n° 23), il y a lieu de les compléter. Le dernier, par exemple, pourrait s'énoncer comme suit : Si, parmi les nm intersections de deux courbes U_m et V_n,

$$\rho = nm - \frac{1}{2}(m+n-r-1)(m+n-r-2) = nm - \delta$$

se trouvent sur une courbe W_r d'un ordre r tel que $r \geqslant m$, $r \geqslant n$ et $m + n - 2 > r$, les δ intersections restantes appartiendront *certainement* à W_r, *quand les* ρ *premiers points constituent autant d'éléments indépendants de cette courbe — et peut-être* à W_r, *quand la dernière condition n'est pas remplie.* Géométriquement on vérifie souvent l'indépendance des points, en constatant que les δ intersections résiduelles de U_m et V_n n'appartiennent à aucune courbe d'ordre $m + n - r - 3$. Si une telle courbe existe, les points ne sont pas indépendants et le théorème de Cayley peut devenir illusoire. C'est un fait qui a déjà été mis en évidence par Bacharach en 1881.

Au n° 20, le résultat signalé est rigoureusement exact, mais le raisonnement est illégitime. Subsistent aussi en toute rigueur, abstraction faite des modes de démonstration employés, l'exem-

ple 1 du n° 19, et les trois exemples du n° 23. L'exemple 2 du n° 19 comporte des exceptions.

La méthode du dénombrement des constantes, auquel l'auteur a implicitement ou explicitement recours, ne peut être appliquée qu'avec la plus grande circonspection. De même l'emploi inconsidéré d'identités peut conduire à des résultats illusoires ou incomplets. On pourra nous objecter que l'auteur a voulu rejeter systématiquement les soi-disant « cas particuliers ». Mais les résultats « généraux » sont-ils toujours seuls dignes d'attention ? Et puis, est-il vraiment *possible* de limiter le *raisonnement* au prétendu cas général, sans faire la moindre allusion au cas d'exception éventuel ? Évidemment, eu égard aux intentions de l'auteur, il ne pourrait être question d'entrer dans tous les détails d'un long et minutieux exposé des théories en cause. Mais, du moins, à défaut d'indications précises, devrait-on, par quelques remarques bien placées, attirer l'attention sur le caractère fragile des méthodes de démonstration employées. Sinon, le but à atteindre : provoquer des recherches *heureuses* de la part de quelque élève intrépide et enthousiaste serait grandement compromis. A défaut d'être suffisamment éclairé, on s'expose à marcher dans les ténèbres et, chose plus grave, à tomber dans le vide. Plus d'un géomètre éminent, non prévenu, s'est laissé emporter par son imagination jusqu'à produire, dans le domaine d'application des théories dont il est question ici, des « résultats » partiellement ou même totalement illusoires.

A vrai dire, il reste encore beaucoup à faire dans ce domaine. En dépit du fait que certaines bases sont aujourd'hui solidement établies, peu d'applications intéressantes ont vu le jour jusqu'ici. Est-ce parce qu'on recule devant les difficultés qui s'accumulent dans un terrain glissant et parsemé d'embûches ? Cependant, l'enjeu en vaut la peine. Il est de ces résultats, exceptionnels, imprévus, bizarres, qui semblent un moment le produit de quelque haute fantaisie, et qui finiront tôt ou tard par s'imposer à l'attention des géomètres. Ajoutons que dans la plupart de nos pays, en Belgique et en France notamment, on a fort négligé cette théorie, à défaut, sans aucun doute, d'un enseignement approprié — supérieur *et moyen* — qui soit capable de former des éléments sérieux, entraînés à ces sortes de problèmes...

Concluons. Abstraction faite de quelques défaillances, souvent excusables d'ailleurs dans la situation imméritée généralement dévolue, aujourd'hui encore, à une partie importante de la

géométrie des courbes, l'auteur a su, en un nombre restreint de pages, traiter avec art et méthode des questions extrêmement intéressantes, où la note personnelle apparait maintes fois sous forme de points de vue très heureux. Comme telle, les LECTURES peuvent être recommandées à tous les amis de la Mathématique, désireux de s'initier à certaines méthodes de la géométrie.

L. CASTEELS.

II

LEÇONS DE GÉOMÉTRIE SUPÉRIEURE, par E. VESSIOT, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris. — Édition revue et augmentée, avec une préface de M. G. KŒNIGS, membre de l'Institut. — Un vol. gr. in-8° de 376 pages. — Paris, Hermann, 1919.

L'application de l'analyse à la géométrie a été portée par les travaux de Darboux à un point qui ne sera vraisemblablement pas dépassé d'ici longtemps ; mais, en raison de son ampleur même, le grand traité où l'illustre géomètre a développé cette partie de son œuvre n'est guère abordable pour le commun des étudiants. Entre ce magnifique ouvrage et les livres élémentaires, répondant aux besoins scolaires les plus courants, il y a place pour des exposés propres à faire pénétrer l'étudiant dans les régions élevées de la science, sans les lui faire parcourir d'une façon aussi complète ni à une aussi grande hauteur que les magistrales leçons de Darboux. C'est un type d'exposé de ce genre que réalise excellemment le livre de M. Vessiot, rédaction remaniée de leçons professées, pendant l'année scolaire 1905-1906, à la Faculté des sciences de Lyon, pour les candidats à l'agrégation, et que l'un d'eux, M. Anzemberger, avait recueillies pour leur faire prendre la forme de feuilles autographiées. Tel avait été le succès de ces feuilles, auprès de tous ceux entre les mains de qui elles étaient tombées, qu'une édition imprimée s'est, en quelque sorte, trouvée imposée par la force des choses. La préparation de cette édition a d'ailleurs été pour M. Vessiot l'occasion de refondre son texte et d'y introduire d'utiles additions.

Sans méconnaître la très grande part d'originalité qui se rencontre dans l'exposé de M. Vessiot, on peut, croyons-nous, y retrouver la trace de l'influence de Darboux, ne fût-ce que par l'emploi systématique, qui y est fait, de ce trièdre mobile devenu

un outil si puissant entre les mains expertes de Darboux, après avoir servi d'élément fondamental à l'ingénieuse méthode imaginée par Ribaucour sous le nom de *périmorphie*.

Le volume s'ouvre par une revision des points essentiels de la théorie des courbes gauches et de celle des surfaces développables, inséparables, au reste, l'une de l'autre, où s'affirment, dès l'abord, les qualités d'impeccable précision de M. Vessiot.

Pour la théorie des surfaces en général l'auteur prend comme point de départ l'étude du ds^2, d'où dérivent immédiatement les notions de déformation et de représentation conforme, et l'établissement des formules fondamentales relatives à une courbe de la surface, avec l'interprétation cinématique des éléments auxiliaires qui y interviennent.

L'étude de la courbure normale, complétée par la notion de l'indicatrice, aboutit à la considération des lignes tangentes en chacun de leurs points à une direction remarquable du plan tangent (isotrope, asymptotique, principale), lignes qui jouent un rôle primordial dans la théorie des surfaces sous les noms de lignes minima (ou de longueur nulle), lignes asymptotiques, lignes de courbure ; et, de même, l'étude de la courbure géodésique conduit à la considération des lignes géodésiques.

Les six coefficients figurant (en deux groupes de trois) dans les formes quadratiques sur lesquelles repose toute la théorie des lignes tracées sur une surface constituent un système d'invariants qui peut servir à définir entièrement la surface considérée, quel que soit le déplacement qu'on lui suppose. L'auteur fait découler de là, par voie analytique, la notion de courbure totale pour l'interpréter tout aussitôt sous forme géométrique grâce à la considération de la représentation sphérique.

Ayant établi les formules fondamentales relatives aux coordonnées orthogonales et isothermes, il les utilise ensuite dans l'étude des relations entre la courbure totale et la courbure géodésique, ainsi que dans la démonstration de la formule de Gauss concernant l'aire d'un triangle géodésique.

Un substantiel paragraphe fait connaître les principales propriétés des surfaces à courbure totale constante dont le haut intérêt tient à ce que leurs géodésiques, envisagées sur ces surfaces comme les droites sur un plan, y réalisent des géométries non-euclidiennes.

Tout un chapitre est consacré aux surfaces réglées, développables ou gauches, et notamment à la détermination de leurs lignes de courbure, asymptotiques, géodésiques.

On sait le rôle capital joué dans la géométrie de l'espace par les congrnences et complexes de droites, systèmes de droites dépendant respectivement de deux et de trois paramètres. C'est une des caractéristiques du livre de M. Vessiot que la place, tout à fait en rapport avec leur importance, qu'il accorde à leur théorie ainsi qu'aux applications qui en peuvent être faites à la théorie des surfaces ; et c'est par là, tout particulièrement, selon nous, que cet excellent ouvrage se recommande aux étudiants en géométrie.

L'auteur fait tout d'abord un exposé très clair, très précis et très complet des propriétés fondamentales des congruences de droites et des éléments qui y jouent un rôle essentiel : foyers, surface focale, développable,....., en examinant toutes les particularités qui s'y peuvent rencontrer. L'introduction, dans cette théorie, des notions fondamentales de la géométrie des éléments de contact permet, au reste, de l'approfondir plus complètement.

Signalons en passant l'élégance de l'application faite à l'étude des surfaces de Joachimsthal, celle aussi de la détermination des développables d'une congruence dans divers cas où l'intégration de l'équation différentielle du premier ordre et du deuxième degré, dont dépend le problème, peut se simplifier.

L'auteur étudie enfin avec soin les propriétés infinitésimales métriques des congruences et notamment celles des pinceaux de rayons infiniment déliés ayant pour axes les diverses droites de la congrnence.

Lorsque les plans focaux relatifs à chaque droite de la congruence sont rectangulaires, cette congruence se confond, comme on voit, avec l'ensemble des normales à une surface, ou, plutôt, à une infinité de surfaces parallèles entre elles. L'étude de ces congruences de normales donne lieu, bien entendu, à un chapitre spécial où sont envisagés les cas particuliers les plus intéressants, au premier rang desquels les surfaces enveloppes de sphères et, notamment, les surfaces-canaux et les cyclides de Dupin.

Lorsque deux surfaces, placées l'une par rapport à l'autre dans une situation déterminée, se correspondent point par point, les droites joignant entre eux ces divers couples de points engendrent une congruence dont la considération intervient utilement dans l'étude de nombre de propriétés. Il en est de même de celle qu'engendre la droite d'intersection des plans tangents aux points correspondants.

A la suite de généralités relatives à cette nouvelle représenta-

tion des congruences, l'auteur étudie en détail les correspondances spéciales pour lesquelles les développables de la congruence des droites joignant les couples de points correspondants coupent les deux surfaces suivant les deux réseaux conjugués qui, de l'une à l'autre, se correspondent, et, plus particulièrement, la correspondance par plans tangents parallèles, qui, dans le cas où elle fournit une représentation conforme de l'une des surfaces sur l'autre, conduit à la notion des surfaces isothermiques, sur laquelle s'étend l'auteur, avant de recourir à l'emploi des coordonnées pentasphériques, aussi appliquées à l'étude des cyclides, puis des transformations conformes.

Le chapitre suivant est consacré à la théorie générale des complexes de droites et à ses rapports avec celle des équations aux dérivées partielles du premier ordre, suivie, dans un autre chapitre, de celle, si fertile en applications, des complexes linéaires.

Suit un exposé, d'une admirable clarté, des principes généraux relatifs aux transformations de contact, et, plus spécialement, dans le cas d'une équation directrice, aux transformations dualistiques, dans celui de deux, à la transformation de Lie qui doit surtout son importance à ce qu'elle ramène l'une à l'autre la détermination des lignes de courbure et celle des lignes asymptotiques. L'auteur déduit également de la théorie générale, par un procédé très simple, la détermination de toutes les transformations qui conservent soit les lignes asymptotiques, soit les lignes de courbure. Il fait enfin connaître la transformation apsidale qui permet de déduire la surface des ondes d'un ellipsoïde.

Les propriétés essentielles des systèmes triples orthogonaux sont résumées, de façon précise, en un cout chapitre où est établie l'équation aux dérivées partielles de Darboux, exprimant la condition nécessaire et suffisante pour qu'une famille de surfaces donnée puisse faire partie d'un système triple orthogonal. On y trouve également la détermination des systèmes triples orthogonaux contenant soit une famille de plans, soit une famille de sphères.

Un dernier chapitre est consacré aux congruences (systèmes dépendant de deux paramètres) de sphères ou de cercles et notamment aux systèmes cycliques de Ribaucour, constitués par des cercles orthogonaux à deux surfaces et établissant de l'une à l'autre une correspondance qui conserve les lignes de courbure. Nous signalerons, dans ce chapitre, l'ingénieuse démonstration

du beau théorème de Dupin relatif aux surfaces pour lesquelles les lignes de courbure des deux nappes de la développée se correspondent, et une intéressante digression sur les surfaces dont les rayons de courbure principaux en chaque point sont fonctions l'un de l'autre, dites *Surfaces de Weingarten*, qui comprennent comme cas particulier les surfaces minima lorsque la relation entre les rayons de courbure consiste en ce que leur somme algébrique est nulle.

Le volume se termine par un choix de soixante exercices se rapportant aux sujets traités dans les divers chapitres.

Peut-être aura-t-on pu se faire une première idée de la richesse de la matière contenue dans ce bel ouvrage en lisant les lignes qui précèdent ; mais seule une étude directe permet d'en apprécier le haut intérêt tenant non moins à la nature des questions envisagées qu'à la façon à la fois élégante et rigoureuse dont elles sont traitées. Bien que limité à un cadre beaucoup plus restreint que les magistrales leçons de Darboux, le livre de M. Vessiot, dans les limites où il se tient, n'est assurément pas de moindre valeur.

M. O.

III

THE THEORY OF DETERMINANTS IN THE HISTORICAL ORDER OF DEVELOPMENT, by SIR THOMAS MUIR. Vol. III. The period 1861 to 1880. Un vol. petit in-8° de XXVI-503 pages. — London, Macmillan and C°, 1920.

Il y a près d'un demi-siècle que M. Muir s'occupe, avec une admirable persévérance, de l'histoire et de la théorie des déterminants. Il a écrit sur cette matière plusieurs centaines de mémoires et notes, qui présentent tous de l'intérêt. Aussi est-il, dans ce domaine, incontestablement le plus compétent au monde.

Le travail bibliographique fondamental qui a servi à élaborer la *Theory* est constitué par six longues listes, dressées avec un soin extraordinaire, et qui sont insérées dans les volumes 18 (1882), 21, 36, 38, 42 et 47 (1916) du QUARTERLY JOURNAL OF PURE AND APPLIED MATHEMATICS.

Le tome premier de l'ouvrage embrasse la période allant jusqu'à 1841. Il a paru d'abord en 1890, puis en 1906. Cette seconde édition comprend deux parties : l'une, relative aux déterminants généraux, reproduit à peu près l'exposé de 1890 ; tandis que l'autre, sur les déterminants spéciaux (principalement

les déterminants fonctionnels et orthogonants), est nouvelle. Les noms illustres de Cauchy et de Jacobi dominent cette période.

Le tome second se rapporte aux années 1841-1860 et date de 1911. Pendant cette époque, les notations se fixent, les principales applications à la théorie des formes s'établissent et l'on étudie un grand nombre de types spéciaux de déterminants. Sont le plus fréquemment cités : les noms de Sylvester, Brioschi, Hesse, Jacobi, Hermite, mais surtout Cayley, qui intervient une cinquantaine de fois !

Ces deux premiers volumes avaient paru, sous une forme provisoire, dans les recueils de la Société royale d'Édimbourg. A cause des tristes événements de 1914-1918, il n'a pu en être de même du tome actuel ; mais, comme le dit M. Muir, le retard qu'a subi le volume III — il n'est venu que neuf ans après le tome II — a permis de faire de multiples révisions, particulièrement soignées. Effectivement il est, si possible, encore mieux parachevé que les autres parties.

L'auteur signale que l'ouvrage comprendra un quatrième et dernier volume, embrassant la période de 1881 à 1900 et contenant un index détaillé de l'œuvre entière. Le manuscrit en était déjà à peu près achevé quand la préface du présent tome fut signée (juin 1918).

Une telle histoire mathématique, on le conçoit aisément, ne peut guère constituer qu'une bibliographie. Mais, à certains points de vue, on peut dire qu'elle a beaucoup plus de valeur qu'un Traité ; car, pour les déterminants surtout, elle aide à voir comment les idées sont nées et comment elles sont devenues familières. Ce qui est incontestable, c'est que, de nos jours, de telles œuvres sont nécessaires pour permettre à la Science de poursuivre sa marche glorieuse.

M. Muir classe les écrits, les analyse d'une manière lumineuse et en donne, dans les notations et le langage modernes, des extraits plus ou moins longs, suivant qu'il s'agit de travaux originaux de maîtres, de contributions plus modestes ou de simples compilations. L'auteur fait preuve d'un remarquable sens critique. Et l'ouvrage doit être considéré comme complet, car rien de ce qui a quelque importance n'est négligé.

Ce tome III est particulièrement intéressant par le grand nombre des déterminants spéciaux qu'il considère. Il y correspond autant de chapitres et, dans chacun d'eux, les écrits se suivent chronologiquement. Voici les titres de ces divisions : Chap. I. Déterminants en général, 1860-1880 (p. 1-; 120 auteurs;

180 travaux). Parmi les 180 travaux, plus du tiers sont des livres. M. Muir constate que l'Allemagne a été particulièrement productive depuis le jour où le sujet est entré dans l'Enseignement supérieur et que, depuis cette époque, on trouve des écrits en tchèque, en polonais, en hollandais, etc. — Chap. II. Déterminants et équations linéaires, 1861-78 (p. 83- ; 15 auteurs : 16 travaux). Sujet peu étudié antérieurement. — Chap. III. Déterminants axisymétriques, 1846-79 (p. 94- ; 36 auteurs ; 46 travaux). — Chap. IV. Déterminants symétriques non axisymétriques, 1862-79 (p. 123- ; 10 auteurs ; 13 travaux). — Chap. V. Alternants, 1860-79 (p. 132- ; 41 auteurs ; 47 travaux). Ici le nombre des écrits s'est beaucoup accru relativement aux périodes antérieures. — Chap. VI. Déterminants composés, 1862-80 (p. 176- ; 21 auteurs ; 27 travaux). — Chap. VII. Déterminants récurrents, 1858-79 (p. 208- ; 30 auteurs ; 45 travaux ; c'est-à-dire 5 fois plus qu'antérieurement). — Chap. VIII. Wronskiens, 1862-74 (p. 248- ; 8 auteurs ; 10 travaux). — Chap. IX. Jacobiens, 1862-77 (p. 257- ; 24 auteurs ; 25 travaux). — Chap. X. Déterminants gauches et pfaffiens, 1861-80 (p. 272- ; 12 auteurs ; 17 travaux). — Chap. XI. Orthogonants, 1855-79 (p. 284- ; 22 auteurs ; 25 travaux, plus 16, cités en complément). — Chap. XII. Déterminants persymétriques, 1836-79 (p. 309- ; 15 auteurs ; 17 + 5 travaux). — Chap. XIII. Bigradients, 1859-80 (p. 327- ; 22 auteurs ; 26 + 12 travaux). — Chap. XIV. Hessiens, 1862-79 (p. 363- ; 16 auteurs ; 17 travaux). — Chap. XV. Circulants, 1861-80 (p. 372- ; 16 auteurs ; 24 travaux). — Chap. XVI. Continuants, 1850-80 (p. 393- ; 16 auteurs ; 29 travaux). — Chap. XVII. Multilinéants, 1860-77 (p. 423- ; 5 auteurs ; 6 travaux) Ce sont les déterminants d'ordre infini. — Chap. XVIII. Déterminants cubiques et à n dimensions, 1861-79 (p. 429- ; 10 auteurs ; 12 travaux). Il est regrettable que l'auteur ne donne presque rien sur ce sujet et aussi qu'il n'ait pas placé ces deux chapitres à la fin du volume. — Chap. XIX. Déterminants bordés, 1860-80 (p. 432 ; 10 auteurs : 10 travaux). — Chap. XX. Déterminants de nombres combinatoires, 1864-79 (p. 447- ; 7 auteurs ; 8 travaux). — Chap. XXI. Déterminants zéro-axiaux, 1870-88 (p. 463- ; 8 auteurs ; 9 travaux). — Chap. XXII. Formes moins communes, 1839-80 (p. 469- ; 29 auteurs ; 37 travaux). Ce sont notamment des déterminants dont les éléments sont des intégrales, des dérivées ou des nombres alternés.

Une Table des matières, ouvrant le volume, donne chronologiquement les noms des auteurs, pour les 22 chapitres. Le lec-

teur s'y reportera pour trouver tel théorème particulier. L'ouvrage se termine par une liste alphabétique des personnes. Très pratique et utile, elle fait ressortir lumineusement à quelle partie de la matière chaque auteur a contribué. Les noms sont accompagnés des dates des mémoires correspondants et l'objet de ceux-ci est indiqué par un seul mot. Il n'aurait pas déplu de trouver à côté des noms propres les dates de naissance et éventuellement de mort. Parmi les géomètres qui ont produit le plus de travaux sur la matière pendant la période, il y a : Gunther, Studnicka, Sylvester, Cayley, Muir, Balzer, Wolstenholme, Glaisher, Salmon, Scott, Mansion, Trudi.

L'exécution matérielle de l'ouvrage est parfaite, elle aussi.

Comme travail de référence, on n'a jamais rien fait de mieux que cette œuvre de Muir : elle fera autorité. Elle est indispensable à tous ceux qui ont l'occasion de s'occuper d'une manière approfondie de cette branche si attrayante des mathématiques pures et elle pourra être utile à la plupart des géomètres : ils ne sauraient être trop reconnaissants à M. Muir d'avoir entrepris pour eux, avec une admirable persévérance, un travail demi-séculaire !

M. Legat.

IV

Euclid in Greek, Book I, with Introduction and Notes, by Sir Thomas L. Heath, F. R. S. Un vol. in-8° de viii-239 pages. — Cambridge, at the University press, 1920.

Il y a une quarantaine d'années, on reprochait à l'Angleterre de s'être désintéressée, depuis longtemps, de l'histoire et de l'étude des Mathématiques anciennes, — en exceptant l'étude, souvent faite dans un esprit assez étroit, du texte d'Euclide. — En se permettant cette négligence des sources antiques, les mathématiciens d'Outre-Manche se montraient oublieux des magnifiques exemples légués par leurs prédécesseurs du xviie et du xviiie siècle. Wallis, le plus grand des géomètres anglais avant Newton, n'avait-il pas eu à cœur de donner, en 1685, à son vaste ouvrage sur l'Analyse algébrique le titre : *De Algebrâ tractatus historicus et practicus ?* Et les presses d'Oxford n'étaient-elles pas fières, en ces siècles-là, de leurs célèbres éditions des grands géomètres de la Grèce : par exemple, du superbe *Euclidis quae supersunt omnia* de Gregory, de 1703 ?

— En dehors des articles remarquables de De Morgan dans le Dictionnaire biographique de Smith et de trois études substantielles de G.-J. Allmann sur la Géométrie grecque de Thalès à Euclide, publiées depuis 1877, l'Angleterre, observait Paul Tannery, était restée étrangère au mouvement historique qui commençait à passionner les mathématiciens des autres nations.

Sir Thomas L. Heath et l'Université de Cambridge ont eu l'honneur d'être des premiers à renouer le fil de la tradition, fâcheusement rompu, et à travailler au relèvement des études historiques parmi les mathématiciens de leur pays.

En 1884, l'*University press* de Cambridge publia *A Short History of Greek Mathematics* de James Gow : cet aperçu, écrit par un *fellow* aussi érudit que judicieux, reste un véritable « bon livre » sur cette matière difficile, bien qu'il faille ne point suivre sans contrôle ses affirmations, ni accepter toutes ses conjectures. En 1885, Th. L. Heath, alors lui aussi *fellow* de l'Université de Cambridge, donna son *Diophantus of Alexandria :* Paul Tannery, le futur auteur de l'édition critique des Œuvres de l'algébriste alexandrin, loua, dans le BULLETIN de Darboux (1886, pp. 148-159), l'esprit clair et méthodique et la science généralement assez sûre du mathématicien et surtout du philologue, tout en faisant quelques réserves sur l'érudition générale, en matière d'histoire des Mathématiques.

En 1897, Heath publia son *Archimedes :* les Œuvres du Syracusain y sont transcrites en notation moderne et ses diverses parties sont munies d'excellentes introductions. Une douzaine d'années plus tard, Heath donna un supplément à ces Œuvres d'Archimède, sous le titre *The « Method » of Archimedes.* Il s'agissait de l'Ἔφοδος de ce grand Géomètre, ouvrage dont le titre assez vague, cité par Héron, nous était seul connu, et dont le texte venait d'être retrouvé, en 1907, à Constantinople et d'être publié par Heiberg dans l'HERMÈS. Ce petit Traité n'est autre chose qu'une « Introduction » aux méthodes de l'Analyse infinitésimale, telle qu'Archimède la concevait et l'appliquait à la Géométrie, et la conception du Géomètre grec était bien voisine de celle de Newton et de Leibnitz. La découverte de l'Ἔφοδος d'Archimède éclairait d'un jour inattendu l'histoire des lointaines origines de l'Analyse infinitésimale et constituait, pour l'histoire des Mathématiques, la plus importante peut-être des découvertes documentaires qui aient été faites depuis deux siècles. En traduisant dans sa langue cet heureux document grec, Heath a rendu aux mathématiciens un service du plus haut prix.

En 1908, Heath, dans la pleine maturité de son talent et de sa science, publia son grand ouvrage sur Euclide, *The Thirteen Books of Euclid's Elements*. C'est une traduction anglaise du chef-d'œuvre d'Euclide, faite sur le texte grec de l'édition critique d'Heiberg (1883-1888). Une longue et magistrale Introduction ouvre l'ouvrage (T. I, pp. 1-151). Dans tout le cours des trois volumes, chaque paragraphe est muni de commentaires infiniment précieux, empruntés aux auteurs et critiques anciens et aux savants modernes. Partout on reconnaît la compétence mathématique et surtout la haute compétence philologique de l'ancien et très distingué *fellow* de Trinity College de Cambridge.

Enfin, en 1920, Sir Thomas L. Heath vient de nous donner le petit volume dont nous avons transcrit le titre en tête de cet article, *Euclid in Greek, Book I*. Une étroite parenté relie ce volume au vaste ouvrage précédent, *The Thirteen Books*, mais ici le caractère est tout autre. Sir Thomas L. Heath ne s'adresse plus aux savants, mais aux étudiants, et il veut faire œuvre de pédagogie, bien plus qu'œuvre de haute science. De plus, il ne présente au lecteur que le Livre I, et il le présente, non plus traduit en anglais, ni même comme dans l'édition de Heiberg, offrant en regard du texte euclidien une obligeante traduction latine, mais dans le sévère isolement de son texte grec ; aucune note ne vient ni en bas des pages ni en marge s'entremêler à l'austère déroulement des quarante-huit Propositions du Livre I, qui, revêtues chacune de leur simple et gracieux vêtement grec, se succèdent comme les personnages des Théories antiques. Une substantielle Introduction ouvre le volume (pp. 1-39), et de nombreuses Notes, où se reconnaît la main d'un philologue excellent et d'un vrai mathématicien, constituent une annexe importante (pp. 111-228) : ce sont les résumés très didactiques de l'Introduction et des Commentaires qui enrichissaient l'ouvrage de 1908 ; au point de vue des détails historiques, nous aurions quelques points à y critiquer (1).

(1) Par exemple, p. 16, Heath ne pèche-t-il point par excès de prudence en faisant vivre Héron d'Alexandrie « entre l'an 50 av. J.-C. et le IVe s. de notre ère » ? L'auteur des *Métriques* a vécu avant Pappus (fin du IVe s.), qui le cite, mais après Vitruve et Pline, qui l'ignorent. Il appartient vraisemblablement au siècle des Antonins.

P. 28, Heath fait voyager en Espagne, vers 1220, « déguisé en étudiant musulman », le moine bénédictin Adélard de Bath, l'un des hommes les plus savants de l'Angleterre au Moyen Age. Nous croyons que le séjour d'Adélard

La Préface de l'*Euclid in Greek* est à lire ; les pensées pédagogiques et philosophiques y sont excellentes. L'auteur la date du 5 novembre 1919, et, avec un « humour » qui ne déplaira qu'aux esprits pessimistes, excuse ou plutôt justifie son livre de paraître à un étrange moment. A l'heure présente, en effet, la connaissance du Grec vient de cesser d'être requise chez les jeunes Anglais pour leur entrée aux Universités d'Oxford et de Cambridge. De leur côté, les *Éléments* d'Euclide cessent, en Angleterre, d'être le livre de texte de bon nombre de collèges, épris de modernisme : le vieil Euclide y cède la place à des Manuels plus pratiques et conformes à l'esprit de notre temps ; on aime que les jeunes gens soient préparés, et aussi rapidement que possible, à une vie où les Sciences appliquées et l'Industrie semblent être, presque, le tout de l'homme. Ainsi, la belle langue de Platon et d'Aristote, d'Euclide et d'Archimède, — ces princes de la pensée, — subit, dans l'enseignement des jeunes gens anglais, un recul : ceux-là s'en affligeront, qui savent le rôle qu'ont joué pendant quatre siècles les Humanités grecques-latines, ces véritables *Litterae Humaniores*, dans la formation intellectuelle de l'Europe. Quant à Euclide, son ostracisme sera regretté, si les auteurs des Manuels de Géométrie n'ont point cet esprit de rigueur irréprochable et de méthode qui sont le propre de la Mathématique. C'est donc à l'heure où le Grec et Euclide subissent cette offensive violente, que Sir Thomas L. Heath présente au public, en guise de contre-offensive, son *Euclid in Greek*. On peut féliciter la jeunesse d'An-

à Cordoue, où il aurait demandé des leçons à un maître musulman, n'est qu'une hypothèse.

P. 25, Heath fait allusion à quelques mots de Cassiodore, qui permettent de croire que Boèce composa vers l'an 500 une traduction intégrale des *Éléments* d'Euclide. Boèce, si souvent appelé le dernier des Romains et qui fut aussi le dernier représentant des Sciences et des lettres anciennes, a-t-il traduit « dans la langue d'Ausone » le chef-d'œuvre euclidien ? Le lecteur qui s'intéresserait à ce problème, nous saura gré, si nous lui signalons l'édition critique et le commentaire de la *Géométrie* de Cassiodore (où est traitée la question de la traduction latine d'Euclide) par Victor Mortet, publiée sous le titre *Notes sur le texte des « Institutiones » de Cassiodore, d'après divers manuscrits*, Paris, Klincksieck, 1904, extrait de la REVUE DE PHILOL., DE LITTÉRAT. ET D'HIST. ANC. (1900 et 1903, *passim*). Le lecteur nous permettra de lui indiquer, au sujet de ce même problème, quelques pages que nous avons écrites dans la présente REVUE DES QUEST. SCIENT., num. d'oct. 1908, pp. 569-571 ; nous n'avons point cité en ces pages les études de V. Mortet, ne les ayant connues que plus tard.

gleterre de la confiance que Sir Thomas L. Heath a en elle : par l'accueil qu'elle fera à ce livre, elle saura montrer que ni Euclide ni le Grec ne sont faits pour lui déplaire. Il y a cinquante ans, l'excellent mathématicien français, J. Hoüel, publia son *Commentaire sur les XXXII premières propositions d'Euclide* (Paris, 1867). Par ce modeste livre, il rendit aux étudiants de France et de Belgique un service inoublié, leur montrant le chemin de cette source antique de la Géométrie et leur faisant apprécier et aimer la pensée mathématique grecque, et ce *Commentaire* était suivi d'un excellent et très attachant *Essai critique sur les principes fondamentaux de la Géométrie* et de *Notes* importantes : cet Essai et ces Notes constituaient un magistral commentaire des Définitions, des Postulats et des Axiomes qui ouvre l'œuvre immortelle d'Euclide. Sir Thomas L. Heath rendra, lui aussi, par son *Euclid in Greek, with Introduction and Notes*, un service qui sera immensément apprécié, et en présentant Euclide sous son vêtement grec, le service sera double. Les jeunes Anglais, pour peu que leurs Humanités aient été sérieuses, ne seront point embarrassés par le Grec euclidien : leur intelligence y manœuvrera en terre connue, je veux dire en pays de Géométrie élémentaire; et si quelquefois un terme technique les arrête un instant, ce sera pour eux l'occasion d'apprécier les services de l'*Index* des termes spéciaux, qui clôt le volume, et la valeur des *Notes* auxquelles cet Index renvoie.

B. L.

V

William Oughtred, a great seventeenth-century teacher of mathematics, par Florian Cajori. Un vol. in-12 de VI-100 pages. — Chicago and London, The Open Court Publishing Company, 1916.

Le lecteur qui m'a peut-être fait l'honneur de lire dans la Revue mon dernier *Bulletin d'Histoire des mathématiques* se souvient sans doute que j'y ai parlé avec éloges d'un érudit travail de M. Florian Cajori sur les notations algébriques de Guillaume Oughtred. Au moment où j'écrivais ce compte rendu, je ne connaissais pas la charmante petite plaquette que le professeur de l'Université de Berkeley a consacrée au géomètre anglais, et je m'en félicite. Oughtred est un personnage vraiment

intéressant : mon omission involontaire me fournit l'occasion de parler de lui une fois de plus.

La seconde moitié du XVIIe siècle, dit dans l'Introduction M. Cajori, est une période brillante de l'histoire de la science anglaise. Elle vit fleurir Wallis, Hooke, Halley, Barrow, Cotes, mais surtout Newton. La première moitié du siècle eut moins d'éclat, tout en ne manquant pas, cependant, de savants distingués. L'un d'eux, notamment, s'y fit un nom : Guillaume Oughtred.

Newton, plus qu'aucun autre, contribua à sa réputation. Sir Isaac, disent les biographes de l'auteur des *Principes*, se forma par l'étude approfondie de cinq ouvrages : les *Éléments* d'Euclide, la *Géométrie* de Descartes, les *Œuvres* de Viète, les *Mélanges* de Van Schooten, la *Clavis Mathematica* d'Oughtred. Pas plus que M. Cajori, je ne discuterai ici la question de savoir si, énoncée en des termes aussi brefs, la proposition n'est peut-être pas un peu trop exclusive ; mais je la rappelle pour montrer en quelle estime l'immortel inventeur du calcul des fluxions tenait son compatriote. Oughtred n'était cependant pas un professionnel de la science. M. Cajori le range plutôt parmi les dilettantes et les amateurs, parmi les Viète et les Fermat. Ce n'est pas, bien entendu, le classer entre les moindres. J'aurai à revenir sur ce caractère du génie d'Oughtred ; mais voici au préalable une esquisse de sa biographie.

Il naquit à Eton, siège du célèbre collège de ce nom, vers 1574, y reçut le commencement d'une forte éducation, achevée ensuite à Cambridge, et après avoir conquis tous ses grades, fut enfin promu Maître ès Arts en 1600. Il se montra, tant à Eton qu'à Cambridge, élève studieux, passionné pour les mathématiques, empiétant sur son sommeil pour se livrer à sa science favorite. Sans négliger les géomètres grecs, ses préférences allaient, à cette époque, aux algébristes italiens, allemands et français.

A vingt-trois ans, il composa sa *Méthode aisée pour tracer géométriquement les cadrans solaires*, ouvrage qu'il ne publia pas alors, mais qu'il donna pour la première fois, en 1647, dans l'édition anglaise de la *Clavis mathematica*. Les mathématiques n'étaient cependant, pour Oughtred, qu'une simple distraction, un passe-temps accessoire, car il se destinait à l'état ecclésiastique et l'exégèse faisait nécessairement l'objet principal de ses études. En 1604, il fut nommé prédicant au vicariat de Shalford, dans le Surrey, et en 1610, élevé à la charge de recteur d'Albany, dans laquelle il coula, depuis, sa longue existence. Il s'était marié

en 1606, mais on ne sait rien d'intéressant ni de fort précis sur sa vie familiale.

Les longues heures qu'Oughtred consacrait aux mathématiques firent murmurer. On lui reprocha de négliger ses devoirs paroissiaux. Plainte fut portée contre lui devant le Conseil des Affaires Ecclésiastiques, et en 1646, il fut cité devant ce tribunal pour se justifier. La protection de quelques amis dévoués et influents le tira d'affaire. Ce fut une simple alerte; en réalité, Oughtred n'avait guère d'ennemis. Bien au contraire, la plupart des jeunes gens à l'éducation desquels ses fonctions de recteur ne l'empêchaient pas de s'intéresser, lui gardèrent une sincère affection et une fidèle estime. Il faut en excepter, toutefois, un Richard Delamain, dont les virulentes attaques attristèrent, pendant de longues années, l'âge mur et la vieillesse de son ancien maître. Cette querelle, fort oubliée depuis, provoqua de la part d'Oughtred une *Épître apologétique*, riche en renseignements autobiographiques et des plus précieuses pour les historiens de l'auteur.

Oughtred, nous dit Aubrey, l'un d'eux, était un homme de petite taille, à la chevelure noire, à l'œil noir aussi et pétillant d'esprit, au visage reflétant l'habitude du travail.

Le grand mathématicien mourut à Albany en 1660, âgé d'environ 86 ans. L'édition anglaise de la *Clavis mathematica* de Londres 1647 nous a conservé le portrait d'Oughtred d'après un tableau de Hollard. Au bas de la gravure on lit ce distique :

Haec est Oughtredi senio labentis imago
Itala quam cupit, Terra Britanna tulit.

Après la notice biographique que je viens de résumer trop brièvement à mon gré, le professeur de Berkeley passe à l'analyse des ouvrages d'Oughtred, qu'il divise en deux classes : les grands travaux, les écrits de moindre importance.

Les grands travaux, au nombre de trois, sont la *Clavis Mathematica*, le *Cercle de proportion*, la *Trigonométrie*. Je n'ai rien à ajouter à ce que j'ai dit, en 1911, de la *Clavis Mathematica*, dans les Annales de la Société scientifique (t. XXXV. *La première édition de la Clavis Mathematica d'Oughtred. Son influence sur la Géométrie de Descartes*); mais, il faut nous arrêter un instant à la *Trigonométrie* du géomètre anglais. Dès 1903, au tome II de ses *Vorlesungen ueber Geschichte der Trigonometrie* (Leipzig, Teubner, pp. 42-43) von Braunmühl avait appelé l'attention sur l'originalité de ce petit volume. A

signaler, notamment, l'élégance des notations trigonométriques. Elles sont, en effet, tout aussi pratiques que les nôtres, peut-être même parfois préférables, car plusieurs d'entre elles sont à la fois aussi claires, mais plus courtes. Ainsi, au lieu de faire précéder l'arc par les abréviations *sin, tang, sec, cos, cot, cosec*, Oughtred écrit simplement *s, t, se, sco, tco, seco*. Exemple : la proportion

$$\text{tang}A : \text{tang}B = \text{cot}B : \text{cot}A$$

devient chez lui (*Trigon.* p. 4)

$$tA.\ tB : : tcoB.\ tcoA.$$

Il est assez curieux de remarquer, en passant, que dans toute sa *Trigonométrie*, Oughtred se sert d'un point unique · pour séparer les deux termes de chaque rapport, à l'exception des deux dernières pages, dans lesquelles il remplace ce point unique · par le double point : qui finit par prévaloir. C'est ainsi qu'on y trouve l'exemple suivant :

$$62496 : 34295 : : 1 : 0 \mid 549$$

Nous écririons ce dernier nombre 0,549.

Quant aux opuscules d'importance secondaire, — *minor works*, comme les nomme M. Cajori, — impossible de les énumérer tous ici. Quelques-uns parurent dans les dernières éditions de la *Clavis Mathematica*, d'autres furent publiés à part et presque tous sont devenus des raretés bibliographiques. Il faut cependant en signaler deux : un essai de solution graphique des triangles sphériques tant rectangles qu'obliquangles, et la traduction anglaise des *Récréations Mathématiques* du P. Leneveron S. J.

On ne saurait assez s'étonner de rencontrer un professeur d'Université américaine aussi bien documenté que M. Cajori. J'en parle en connaissance de cause, car j'ai appris par une expérience personnelle combien les ouvrages d'Oughtred sont difficiles à rencontrer. Aussi ne ferai-je aucun reproche à M. Cajori de n'avoir pas analysé un petit volume bien intéressant, sur lequel j'aurai peut-être un jour à revenir, et dont voici, en attendant, le titre complet : *Guilelmi Oughtredi Aetonensis, quondam Collegii Regalis in Cantabrigia socii, Opuscula Mathematica hactenus inedita.* Oxonii, E. Theatro Sheldoniano, Anno 1677. In-8° de 212 pages.

Quelle fut l'influence d'Oughtred sur le développement de la

science ? Quelles furent ses idées personnelles, ses vues philosophiques si l'on veut, sur la Mathématique ? Voilà deux questions que M. Cajori se pose et qu'il résout pour clore son volume.

Et tout d'abord, Oughtred a créé des symboles d'opération qui sont restés. Rappelons la croix de Saint André × pour la multiplication, les quatre points séparés par une barre horizontale ∺ pour les progressions géométriques, les quatre points simples : : pour séparer les deux rapports d'une proportion. On lui doit aussi la règle de la multiplication abrégée. Bref, entre Viète et Descartes, Oughtred occupe une place que j'ai cru pouvoir comparer ailleurs à celle d'Albert Girard. Wallis traita autrefois Descartes, on le sait, de plagiaire d'Oughtred et d'Harriot, ou du moins chercha à faire croire au plagiat. Des admirateurs un peu outrés du grand géomètre français, tels que Baillet, allèrent à l'extrême opposé et soutinrent que Descartes ne connaissait pas même les deux algébristes anglais. Le contraire, on l'a répété à satiété, est aujourd'hui prouvé pour Harriot. Qu'en est-il pour Oughtred ? Ici les preuves irréfragables font défaut. Malgré mon admiration pour le talent de Descartes, je suis néanmoins persuadé que le géomètre français lisait plus qu'il ne voulait bien l'avouer, et que l'influence plus ou moins directe d'Oughtred, du moins par le milieu ambiant, fut sur lui très réelle. M. Cajori, qui veut bien me faire l'honneur de discuter mon opinion sur le sujet, s'en tient à l'avis de Baillet. Je me fais un devoir de signaler au lecteur cette légère divergence qui nous sépare.

Quant aux idées philosophiques d'Oughtred sur la Mathématique, l'âge mûr le rendit admirateur convaincu de ces Grecs : Euclide, Archimède, Apollonius, Diophante, qu'il avait approfondis dès sa jeunesse. Autant dire qu'il était ami de la rigueur. A ses heures, il se laissait cependant attirer par les solutions graphiques. N'est-ce pas, après tout, ce que font encore chaque jour nos ingénieurs ? Car les deux méthodes sont parfaitement acceptables, à la condition de ne leur demander que ce qu'elles peuvent donner.

Mais quelle fut celle des deux qui eut les préférences d'Oughtred ?

Peut-être eût-il été lui même bien embarrassé de le dire. Plus probablement encore eût-il choisi tantôt l'une tantôt l'autre, et répondu d'après ses dispositions du moment, d'après le jour et l'heure où on l'eût interrogé. C'est que, je l'ai dit ci-dessus et il ne faut pas l'oublier, il était, non pas un professionnel, mais un dilettante, un amateur, un artiste, qui cherchait à intéresser, à

distraire, voire à amuser les élèves qu'il instruisait. Volontiers, il écrivait pour eux ce qui avait réussi à leur plaire, mais il se résignait difficilement à se laisser imprimer. Il fallait les affectueuses instances des admirateurs de ses leçons, soucieux de ne pas les perdre, pour vaincre ses répugnances. Voilà un aspect du caractère de Guillaume Oughtred, sur lequel M. Cajori appuie avec une certaine insistance, et qu'il ne faut pas perdre de vue pour bien comprendre l'œuvre du géomètre anglais.

Le volume du professeur de Berkeley se termine par une table des noms propres.

Il fait honneur à l'Université Californienne.

H. Bosmans, S. J.

VI

De Sterre der Wijzen, door Dr D. A. V. H. Sloet. Uitgegeven bij de N. V. Un vol. in-8° de XII-128 pages et une planche hors texte. — Bussum, M. V. H. Paul Brand, 1920.

Le petit volume du Dr Sloet a pour but d'éclaircir le passage de Saint Mathieu où l'Évangéliste raconte l'épisode de l'étoile qui conduisit les Mages au berceau du Sauveur. Le sujet a souvent tenté les exégètes et les astronomes. Au point de vue astronomique, il est moins difficile qu'il ne pourrait sembler à ceux qui sont étrangers à cette science. Les tables permettent de déterminer quel fut l'aspect du ciel dans un endroit de la terre, à tel jour et telle heure du commencement de notre ère ; calcul de pure patience ne présentant pas de difficulté insurmontable.

Le Dr Sloet résume consciencieusement l'état actuel du problème de l'étoile des Mages, en y ajoutant des contributions personnelles. A la naissance du Christ, les planètes présentèrent une succession de conjonctions rares, qui en tout temps eussent appelé l'attention des astronomes. Grâce à divers travaux, notamment à ceux du P. Kugler, S. J., l'astrologie assyrienne nous est suffisamment connue pour pouvoir dire que, d'après les règles de cette pseudo-science, ces conjonctions devaient faire croire aux Mages qu'un grand roi venait de naître en Palestine. Quant à l'étoile des Mages elle-même, le Dr Sloet incline à admettre qu'elle n'était autre que la planète Mars. Telles sont ses deux thèses principales. Il les défend habilement et semble bien connaître les ouvrages récents publiés sur le sujet.

Je dis récents, car, relativement aux autres, je dois signaler une négligence. Avec infiniment de raison le Dr Sloet se réclame à plusieurs reprises de l'autorité de Kepler, mais sans jamais remonter à la source, ce qui est un tort. Dans un mémoire où l'histoire de l'astronomie joue un rôle, on ne cite pas de seconde main un pareil maître. Autant vaudrait, dans une dissertation théologique, invoquer la Somme de Saint Thomas d'après un manuel de séminaire. Le reproche est d'autant plus mérité que Kepler écrivit plusieurs ouvrages consacrés en entier au sujet et qu'il faisait profession de s'y entendre. « Ego hactenus cum theologis et historicis, patiantur nunc astrologiae non ignarum et cum astrologis agere », dit-il, dans son *De vero anno quo Aeternus Dei Filius humanam naturam in utero benedictae Virginis Mariae assumpsit.* (Francofurti, Typis ac sumptibus Joannis Bringeri, 1614, c. 12, p. 134). A propos d'autre chose, le Dr Sloet cite en abrégé cet ouvrage comme suit : *De vero anno,* c. 12 (voir p. ex. p. 12, note 1). Comment alors le distinguer de cet autre : *De Jesu Christi Salvatoris Nostri vero anno natalitio* (Francofurti, in officina typographica Wolfgangi Richteri, 1607)? Pour s'y reconnaître, il faut vraiment être très familier avec les ouvrages de l'immortel astronome, et se rappeler que le premier de ces ouvrages est divisé en chapitres tandis que l'autre ne l'est pas. C'est peut-être trop présumer de l'érudition de plus d'un lecteur.

H. Bosmans, S. J.

VII

Cours d'astronomie, partie générale élémentaire, par M. Alliaume, professeur à l'Université de Louvain. Un vol. in-8° de xiv-368 pages. — Louvain, Uystpruyst ; Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Ce livre est vraiment nouveau. Il est nouveau par l'ordonnance des matières ; il l'est surtout par la méthode.

La préface — sorte de Table des Matières commentée — établit un enchaînement aussi logique que possible entre les questions très diverses que doit traiter un cours élémentaire d'Astronomie, destiné à la fois à initier les étudiants qui devront approfondir cette science et à donner aux élèves-ingénieurs la connaissance de l'astronomie qui satisfasse aux exigences de leur formation générale et leur permette de recevoir un enseignement scientifique de la Topographie.

Le cours est divisé en trois parties. L'univers est observé de trois points différents : de la surface de la terre, et l'observateur étudiera, de là, le mouvement diurne ; du centre de la terre, et il étudiera le mouvement du Soleil et de la Lune ; du centre du Soleil, et il étudiera les planètes, les comètes. C'est ici également qu'il fera intervenir la dynamique pour déchiffrer ces mouvements, expliquer la précession, les marées, etc... Enfin, revenant avec plus de soin à l'observation des étoiles, il y découvrira des mouvements divers et terminera sur la question que l'astronomie laisse encore sans réponse : en quel point de l'espace convient-il de placer le centre d'où l'on étudiera l'ensemble des mouvements des étoiles ?

Quant à la méthode, ceux qui ont suivi l'évolution de l'enseignement de l'astronomie à l'Université de Louvain au cours de ces dernières années y reconnaîtront aussitôt l'empreinte d'un maître, M. Goedseels, dont M. Alliaume fut le disciple avant d'être le continuateur.

Une précision parfaite dans les définitions, un soin extrême d'éviter toute ombre, toute ambiguïté de signe par exemple ; à cet effet, la suppression radicale de la trigonométrie sphérique ; la rigueur mathématique du raisonnement ; tout fait que la doctrine se développe pas à pas, logiquement, en pleine clarté, comme la suite des théorèmes d'un Livre d'Euclide. Une caractéristique remarquable de l'ouvrage, c'est que les questions sont introduites et résolues sous forme de problèmes et au moyen de la formule : *On donne... On demande.* Quand un problème est *posé*, en astronomie, le plus souvent la solution en est immédiate et en tout cas la marche analytique s'impose pour conduire infailliblement à la solution. Il est vrai que la difficulté consiste à *poser* le problème. Qui n'a eu cette impression désagréable en lisant les traités d'astronomie, même les meilleurs, hélas ! de ne pas savoir avec précision quelle était la question à résoudre, le but à atteindre... ? Ce désagrément sera épargné, nous pouvons le lui garantir, au lecteur du nouveau traité.

Disons tout de suite que la lecture de cet ouvrage ne suppose que les notions élémentaires d'analyse et de géométrie analytique.

Voici la distribution détaillée des matières, dans laquelle nous intercalerons quelques réflexions.

Préliminaires. — Définitions relatives à la mesure des longueurs et des angles. Quelques principes du calcul approché

des grandeurs. Coordonnées polaires d'une direction. Équation du cône.

Cette équation est fondamentale dans ce cours. C'est une relation entre les deux coordonnées polaires d'une génératrice du cône, dont l'axe est donné ainsi que la demi-ouverture au sommet. Dans les cas particuliers où cette demi-ouverture vaut un angle droit, l'équation représente un plan. L'auteur étudie rapidement les problèmes d'intersection des cônes et des plans. C'est un court chapitre de géométrie analytique tout à fait original.

Le problème de la parallaxe. Voici, à titre d'exemple, comment il est posé : *On considère deux systèmes parallèles d'axes rectangulaires* OXYZ et $O_1X_1Y_1Z_1$. *On donne :*

1°) *les coordonnées* (ξ, η, ζ) *d'un point* O *par rapport aux axes* $O_1X_1Y_1Z_1$;

2°) *les coordonnées polaires* (ρ, α, δ) *d'un point* M *par rapport aux axes* OXYZ.

On demande les coordonnées polaires $(\rho_1, \alpha_1, \delta_1)$ *d'un point* M *par rapport aux axes* $O_1X_1Y_1Z_1$.

Les quantités $h = \rho_1 - \rho$, $k = \alpha_1 - \alpha$, $l = \delta_1 - \delta$ sont les parallaxes des coordonnées correspondantes.

Transformation des coordonnées. Instruments astronomiques. Ceux-ci sont classés très heureusement en instruments primaires, secondaires et ternaires, suivant qu'ils possèdent 0, 1 ou 2 axes de rotation.

Première partie. — *Coordonnées locales.*

La verticale. Coordonnées horizontales. Théodolite, sextant, astrolabe à prisme. Le mouvement diurne. La méridienne. Les coordonnées azimutales. Problèmes divers sur le mouvement diurne : culminations, hauteurs, levers et couchers des astres, etc. Coordonnées équatoriales, horaires et stellaires. Temps sidéral. Instrument méridien.

Deuxième partie. — *Coordonnées géocentriques.*

Le géoïde, sphérique en première approximation. Coordonnées géocentriques, latitude, longitude, mesure du rayon terrestre.

Deuxième approximation : le géoïde ellipsoïdal de révolution. Ses éléments elliptiques ; ses dimensions. Réfraction. Magnétisme.

Représentations cartographiques. Ce chapitre peut être cité comme un modèle d'exposé à la fois simple et rigoureux, prenant une question à son origine et en établissant les principes vraiment fondamentaux.

Le Soleil : zodiaque, écliptique. Coordonnées écliptiques. L'auteur place ici un tableau synoptique utile des différents systèmes de coordonnées usitées en Astronomie. Trajectoire du Soleil. Mouvement en longitude. Nous n'aimons pas la façon très artificielle dont est amenée la loi des aires : ayant fait remarquer que la vitesse angulaire du Soleil passe par des valeurs extrêmes proportionnelles à $(1+e)^2$ et à $(1-e)^2$, l'auteur *pose* arbitrairement une fonction, admettant ces valeurs pour valeurs extrêmes et puis *affirme* que cette fonction représente correctement la vitesse angulaire pour toute valeur de l'argument. Il eût été plus simple et plus satisfaisant de partir de la loi des aires comme déduite de l'expérience — peu importe par quels tâtonnements — : puis d'en tirer l'expression de la vitesse angulaire.

Voici, encore, à titre d'exemple de la méthode de l'ouvrage, les quatre problèmes qui font toute la théorie du mouvement du Soleil.

1°) *On donne le moyen mouvement* n, *les éléments* (a, e) *de l'orbite, la longitude* G_0 *du périgée, l'instant* t_0 *du passage au périgée, une longitude quelconque* G *(ou un rayon vecteur* ρ*).*

On demande l'instant t *où la longitude est égale à* G *(où le rayon vecteur est égal à* ρ*).*

2°) *On donne le moyen mouvement* n, *les éléments* (a, e) *de l'orbite, la longitude* G_0 *du périgée, l'instant* t_0 *du passage au périgée et un instant* t.

On demande la longitude G *et le rayon vecteur* ρ *à l'instant* t.

3°) *On donne la durée* T *de l'année tropique, l'excentricité* e *de l'orbite, l'instant* t_0 *du passage au périgée, la longitude* G_0 *de ce point, l'obliquité* ε *de l'écliptique et un instant* t.

On demande l'ascension droite A *et la déclinaison* D *du Soleil à l'instant* t.

Constitution physique du Soleil. Spectroscopie solaire. Jours et nuits. Lever et coucher. Saisons et climats.

Précession. Nous signalons encore ici la simplicité et la clarté de l'exposé.

Mesure du temps. Soleil moyen. Équation du temps. Années. Calendrier. Détermination de la longitude.

La Lune : Trajectoire, distance, parallaxe, révolutions lunaires, phases.

Éclipses. Voici encore un des chapitres vraiment originaux de ce cours. Le problème des éclipses est ramené très simplement à l'intersection de deux cônes. Une seule équation donne la solution immédiate des questions suivantes : pour un point M de la

Terre, déterminer les instants où commencent et finissent les différentes phases du phénomène ; lieu des points terrestres pour lesquels il y a contact extérieur ou intérieur à un instant donné t ; lieu des points terrestres pour lesquels il y a éclipse centrale à l'instant t; régions terrestres pour lesquelles le phénomène, partiel ou total, est observable ; ligne de centralité du phénomène. Sans doute, les solutions ne sont pas poussées jusqu'au calcul numérique ; mais, la solution de principe obtenue, un élève intelligent, muni d'éphémérides, saura l'achever sans peine, avec le grand avantage de se rendre compte du pourquoi de ses opérations.

Troisième partie. — *Coordonnées héliocentriques.*

Mouvement des planètes. Aberration de la lumière (très clairement traitée). Orbites planétaires. Éléments elliptiques. Détermination d'une orbite. Rétrogradation des planètes. Cette question est traitée mathématiquement ; les conclusions qu'on en tire donneront à l'élève une idée de la théorie des épicycles de l'Astronomie grecque. Étude particulière des planètes. Les petites planètes. Parallaxe solaire. Satellites. Comètes. Éléments paraboliques. Attraction universelle. Rotation de la Terre ; pesanteur. Ce chapitre ne nous paraît pas entièrement satisfaisant dans l'interprétation des principes de la mécanique. Le caractère *relatif* de la force y est méconnu. De là provient aussi, plus loin, dans l'application de la dynamique aux lois planétaires, une contradiction que l'auteur n'élucide pas : en partant de la loi des aires *approchée*, l'auteur établit rigoureusement que la force est inversement proportionnelle au carré de la distance (p. 295). Puis, en partant d'une force inversement proportionnelle au carré de la distance, il trouve la loi des aires *rigoureuse* (p. 311). Cette contradiction ne peut être levée qu'en donnant au mot « force » un sens relatif.

Problème des $(n+1)$ corps. Précession. L'explication dynamique de la précession que nous trouvons ici n'est pas acceptable. On considère le mouvement de la Terre comme la composition de deux rotations : sa rotation propre autour de son axe de figure et la rotation *qu'elle prendrait*, sous l'influence de l'attraction solaire sur son bourrelet équatorial, *si elle ne tournait pas*. Aucun théorème de dynamique n'autorise, croyons-nous, cette composition.

Masse et densité des planètes. Densité moyenne de la Terre. Marées : théorie statique et théorie dynamique. Rigidité de la Terre.

Les étoiles : constellations, distance, étoiles doubles, variables ou temporaires, amas et nébuleuses. Spectroscopie stellaire. Mouvement des étoiles. Mouvement du Soleil.

En terminant cette courte analyse, nous regrettons que la place dont nous disposons ne nous ait pas permis d'insister comme nous l'aurions voulu sur les qualités de ce nouveau cours d'astronomie. Nous sommes convaincu qu'elles lui vaudront une large diffusion et nous serions surpris s'il ne faisait pas école.

F. W.

VIII

Essai d'Astrométéorologie et ses applications à la prévision du temps, par Albert Nodon, Docteur ès-sciences, Président de la Société astronomique de Bordeaux. Un vol. in-8° de VIII-195 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

L'astrométéorologie ? Le mot peut ne pas plaire ; la chose est intéressante. Il s'agit de la science du temps d'après les mouvements des astres. La relation est évidente en ce qui concerne le Soleil, mais, même dans ses termes solaires, le temps (la température, par exemple) n'est pas uniquement fonction de la position de cet astre. La formation des taches joue-t-elle un rôle ? et l'état électrique de notre atmosphère en subit-il aussi l'influence, de façon que son observation puisse coopérer à la prévision du temps ?

La croyance populaire dans l'influence lunaire est-elle justifiée ? Ne peut-on même pas trouver quelque relation entre la situation atmosphérique et les configurations planétaires, ou le voisinage des comètes, ou les passages d'essaims météoriques ?

L'auteur ne prétend pas apporter une réponse définitive à ces questions si vastes, mais le rapprochement de longues observations lui a permis de se faire une opinion qu'il présente avec une sage prudence et de louables réserves. Quoi qu'on pense de cette interprétation théorique, les règles de prévision du temps basées sur les observations gardent toute leur valeur, et on lira avec intérêt un projet d'organisation d'observatoire météorologique apte à l'application de ces règles.

Ce petit ouvrage de M. Nodon va donner un commencement d'excuse à la question si fréquente : « Dites-moi donc, vous qui êtes astronome, quel temps fera-t-il demain ? »

M. A.

IX

Leçons élémentaires de Physique expérimentale selon les Théories modernes, par J. Tillieux. Un volume in-8° de 390 pages, avec 490 figures. — Louvain, Ceuterick, 1919.

Ce livre est assurément un des plus remarquables parmi les Manuels de Physique élémentaire parus dans ces dernières années. Conçu sur un plan entièrement nouveau, il introduit, dans tout le détail de l'enseignement et dès ses débuts, les hypothèses qui servaient surtout jusqu'ici aux chercheurs pour éclairer leurs explorations dans les territoires scientifiques inconnus. D'ordinaire, on se contentait d'y faire une rapide allusion en quelque fin de chapitre. Ce programme a reçu une exécution d'un caractère très personnel. Même les parties les plus anciennes, les plus usées si l'on peut dire, ont pris un tour nouveau, et on se livre volontiers au charme de n'y retrouver ni les formes de discours ni les modes de description qui se répètent dans tous les traités. Les figures elles-mêmes, qui sont toutes de la main de l'auteur, renouvellent l'atmosphère du volume et contribuent à sa note originale.

Voici comment se présente la distribution des matières.

Première partie : *Le Pondérable.*

Notions de mécanique usuelles.

Chap. I. Les *mondes* (Astronomie). Statique et dynamique des mondes.

Chap. II. Les corps en présence de la Terre ou la *pesanteur.*

Chap. III. Les corps terrestres dans *leurs actions mutuelles* (bref aperçu).

Chap. IV. Les *molécules.* — Art. I. Statique des molécules : § 1. L'équilibre naturel des molécules, ou la chaleur interne et l'élasticité ; § 2. L'équilibre contraint des molécules ou les vibrations et le son. — Art. II. Dynamique des molécules (résistance et viscosité des corps).

Chap. V. Les *atomes* (Chimie).

Chap. VI. Les *électrons* (Électricité). — Art. I. Statique des électrons (électricité statique). — Art. II. Dynamique des électrons (les courants électriques) : § 1. Courants dus à des causes externes (dans les liquides, les gaz, les métaux) ; § 2. Courants dus à des causes intra-atomiques (radioactivité).

Seconde partie : *L'Impondérable.*

Chap. I. Existence et propriétés de l'*éther*.

Chap. II. *Champ électrique*, ou tensions de l'éther.

Chap. III. *Champ magnétique*, ou énergie cinétique de l'éther.

Chap. IV. *Induction électromagnétique*, ou inertie de l'éther.

Chap. V. Les *oscillations de l'éther*. — Art. I. Oscillations hertziennes. — Art. II. Oscillations calorifiques : § 1. Ondes calorifiques proprement dites ; § 2. Ondes lumineuses ; § 3. Ondes actiniques ou chimiques ; § 4. Absorption des ondes. — Art. III. Des rayons X et γ. — Art. IV. Des régions inconnues du spectre.

Chap. VI. *Tourbillons* de l'éther. Conclusion.

Problèmes.

Il n'y a pas à le méconnaître : c'est un bouleversement complet de l'ordre suivi habituellement. Et ce n'est pas une moindre révolution dans le détail de la présentation. Dans chaque question, dans chaque élément, pour ainsi dire, des questions, l'interprétation proposée par les théories corpusculaires suit et encadre l'exposé des faits expérimentaux. L'avantage saute aux yeux : le cours devient extrêmement vivant. Toute sa physionomie est transformée : chaque chose se voit attribuer son importance actuelle dans le moment présent de l'évolution scientifique, au lieu de son importance historique ou traditionnelle. Certaines parentés fondamentales entre des branches de la science, très divergentes au premier abord, apparaissent avec un relief plus accentué. Bref, l'élève est introduit dans le vif du courant des recherches modernes, et prêt à suivre avec enthousiasme toutes les conquêtes de la science.

Sera-t-il aussi bien nanti d'une connaissance vraiment solide de la physique et profitera-t-il du bienfait formatif de la méthode scientifique ? Cela peut se discuter. Il est certain que la prévalence du point de vue des explications hypothétiques a le tort de trop s'adresser à l'imagination, en mettant au premier plan le côté brillant du développement de la physique, tandis que le côté sérieux, qui parle à la raison et à la faculté de réflexion, est laissé dans l'ombre. Ainsi, rien n'est plus salutaire aux jeunes esprits que l'analyse des diverses causes d'erreur qui peuvent fausser une expérience et la nécessité de prendre de multiples précautions. Ce sont choses qui sont trop peu rappelées dans le cours de M. Tillieux.

Un des écueils principaux du nouveau système, c'est d'exposer l'élève à trop s'attacher à la théorie sous sa forme actuelle, et à lui attribuer volontiers une valeur définitive. Bien rares seront

ceux qui auront assez de pénétration pour distinguer nettement les faits acquis du réseau des hypothèses dans lequel ils les auront toujours vus entrelacés, pour démêler, par exemple, dans les explications mécanicistes, les lois si fondamentales et purement expérimentales de la Thermodynamique. Sans doute, pour les y aider, l'auteur a le très louable souci d'imprimer en petit caractère tout ce qui est purement hypothétique. Mais, pour le jeune lecteur, quel est le poids de ce détail d'exécution matérielle au regard de l'imprégnation de toutes ses connaissances par l'atmosphère des théories ?

Un autre danger, auquel M. Tillieux n'échappe pas complètement, c'est de vouloir trop particulariser et d'accepter des explications qui ne sont pas encore assez précisées dans leurs contours, ou bien de risquer des concrétisations fallacieuses de théories abstraites. C'est ce qui lui arrive dans le cas du champ magnétique, qui est présenté comme un tourbillonnement de l'éther, un souffle d'éther, l'énergie cinétique de l'éther.

Troisième inconvénient, celui-là d'ordre pratique. La marche suivie expose à de nombreuses anticipations et à de fâcheuses coupures de matières généralement considérées comme formant un tout. Sous sa première forme surtout, appel à des notions non encore expliquées, ce défaut est très fréquent dans le volume, et il semble bien que dans beaucoup de cas il eût été aisé de l'éviter.

Quant à la forme, elle laisse, malheureusement, à désirer. L'impression favorable, produite au début de la lecture par le talent d'exposition de l'auteur, ne se soutient pas. Le flou de certaines explications, l'impropriété du langage, des néologismes inutiles, certaines inexactitudes laissent finalement l'impression d'une hâte excessive dans la rédaction.

Ces négligences sont regrettables dans un manuel d'enseignement. Une nouvelle édition s'impose où le texte aura subi une revision serrée. A ce prix les qualités foncières de l'ouvrage lui assureront un succès croissant.

D. T.

X

I FENOMENI ELETTRO-ATOMICI SOTTO L'AZIONE DEL MAGNETISMO. Narrazione di ricerche sperimentali sui fenomeni elettrici prodotti nel campo magnetico, par AUGUSTO RIGHI. Un vol. de

XVI + 436 pages (24 × 16) avec 131 fig., dont 8 en planches hors texte. — Bologne, Nicola Zanichelli, 1918.

L'auteur de ce livre, professeur de physique à l'Université de Bologne depuis 1889, correspondant de l'Académie des sciences de Paris, est mort le 8 juin 1920. Dans cet ouvrage il voulut raconter à un public moins restreint que celui des physiciens spécialistes les travaux scientifiques qui remplirent en fait les dernières années de sa vie. Nous y avons gagné un exposé personnel, presque une histoire, de recherches ingénieuses, guidées et interprétées par des vues théoriques originales et instructives. Ce volume, illustré de nombreuses figures schématiques, présente en un style agréable et simple le récit d'un fin chercheur aux prises avec le mystère de la constitution physique de la matière.

Aux non-initiés les conceptions théoriques modernes sur l'existence et le rôle des particules électrisées ou électriques, ions et électrons, sont rappelées dans le chapitre premier. La décharge dans les gaz raréfiés y est décrite en détail et expliquée dans les termes de la théorie d'ionisation par choc.

Au chapitre deuxième, l'auteur entreprend l'étude de l'action exercée par un aimant sur cette décharge. Il prouve qu'on ne peut rendre compte de cette action en faisant uniquement appel à la transformation, très réelle d'ailleurs, des trajectoires rectilignes des particules électrisées en trajectoires hélicoïdales. D'après lui, le champ magnétique facilite l'ionisation de la manière que voici : les électrons, qui gravitent dans les molécules et les atomes autour d'un noyau positif, équivalent à des courants fermés élémentaires. Ceux-ci s'orientent dans le champ de l'aimant de telle façon que la force électromagnétique due au champ et appliquée à l'électron est dirigée vers l'extérieur de l'orbite atomique de celui-ci. Ainsi se trouve diminuée l'énergie requise pour arracher par choc l'électron à l'atome et facilitée l'ionisation de la particule gazeuse. C'est là ce que Righi appelle la *magnéto-ionisation*.

Au chapitre troisième, il scrute la composition du flux cathodique et des rayons canaux positifs des tubes à décharge soumis à l'influence d'un champ magnétique. Avec de multiples expériences à l'appui, mais sans prétendre établir autre chose qu'une féconde hypothèse de travail, il admet que l'action magnétique détermine la présence d'un rayonnement de nature particulière, qu'il dénomme *rayons magnétiques*. Ce rayonne-

ment serait constitué par des systèmes binaires instables, électriquement neutres, formés par un ion positif et un électron circulant autour de lui à une distance bien supérieure au rayon atomique. Ces systèmes dénués de la stabilité des atomes et des molécules pourraient se former au hasard des chocs ionisants. Parmi eux certains se formeraient avec une orientation telle par rapport au champ magnétique que la force électro-magnétique agissant sur l'électron satellite y soit dirigée vers l'ion auquel il est accouplé ; cette force ajouterait ainsi son effet à l'attraction électrostatique de l'ion. Dans cette hypothèse, la liaison très lâche du système est resserrée. D'autre part, le pôle nord de l'aimant repousse les systèmes binaires ainsi orientés et ceux-ci se déplacent le long des lignes de force magnétiques jusqu'à ce qu'un nouveau choc les disloque.

Le chapitre quatrième contient la description de nombreuses expériences variées sur l'action mécanique des particules électriques heurtant les parois du tube de décharge ou de légers moulinets en mica ou en aluminium disposés dans le tube. Le champ d'un aimant, rendant hélicoïdales les trajectoires de la plupart des ions et électrons qui fourmillent dans la masse, leur fait produire des effets mécaniques d'ensemble, par exemple la rotation, dans un sens ou dans l'autre, des corps légers plongés dans le milieu gazeux. C'est ce que Righi appelle les *rotations ionomagnétiques* ; il les explique avec d'abondants détails.

Ces phénomènes l'ont amené, comme il le dit au chapitre cinquième, à construire des appareils révélant l'action électrodynamique, de déplacement ou de rotation, subie par un tube de décharge suffisamment mobile dans un champ magnétique assez intense. D'après lui, ces déplacements résultent des heurts d'ions et d'électrons dirigés obliquement contre les parois du tube par la force électromagnétique du champ. Rapprochant ces résultats expérimentaux des observations faites des courants établis dans des fils métalliques, il trouve une interprétation fort plausible des lois connues d'Ampère concernant les actions et réactions électrodynamiques entre conducteurs. Ces phénomènes proviendraient de la poussée latérale des électrons libres sur les parois du métal. Il explique dans le même sens les phénomènes découverts par Hall, Righi, Ettingshausen et Nernst, dans la conduction électrique et thermique des métaux placés dans un champ magnétique.

L'appendice du livre (pp. 357-411) contient les calculs qui ne pouvaient trouver place dans l'exposé vulgarisateur du corps de

l'ouvrage : A, sur le mouvement d'une particule électrisée dans un champ magnétique et dans un champ électrique uniformes simultanés ; B, sur la déviation produite par un champ électrique sur un faisceau de rayons cathodiques influencé par un champ magnétique ; C, sur le mouvement de l'électron autour de l'ion dans les couples supposés pour la composition des rayons magnétiques ; D, théorie des rotations ionomagnétiques ; E, théorie électronique des forces pondéromotrices électromagnétiques et électrodynamiques ; F, théorie électronique du phénomène de Hall et de l'augmentation de résistance produite dans le champ magnétique ; G, sur la distribution du courant dans un conducteur placé sous l'influence d'un champ magnétique.

Le volume se termine (pp. 415-435) par l'indication bibliographique chronologique des publications du professeur Auguste Righi, de 1872 à 1918.

H. D.

XI

La fisica dei Corpuscoli. Molecole. Atomi. Elettroni, par G. Gianfranceschi, libero docente alla R. Università di Roma. 2ª ed. — Un vol. de VIII + 264 pages (14 × 23) avec 12 fig. dans le texte.

La 1ᵉ édition de cet ouvrage a été épuisée en quelques mois. Celle-ci n'en diffère que par le développement donné à certaines parties. Elle mérite assurément le même succès.

« Ce livre, dit le R. P. Gianfranceschi, n'a d'autre prétention que de venir en aide aux étudiants de philosophie naturelle et de les introduire dans les questions qui font l'objet des recherches les plus modernes dans le champ de la physique. »

L'auteur suppose à bon droit le lecteur au courant des notions de physique, de chimie et de cristallographie, et suffisamment instruit des méthodes du calcul infinitésimal et du calcul des probabilités. Le résumé qu'il lui met entre les mains se distingue par la clarté et l'aisance de l'exposé, par la précision et la sobriété des indications historiques et des références aux mémoires originaux et par l'impartialité d'une critique aussi modeste qu'érudite.

On passe successivement en revue les résultats des études expérimentales les plus récentes, la théorie cinétique des gaz (chap. III, pp. 33-77) et ses fondements expérimentaux, entre

autres le mouvement brownien (chap. IV, pp. 78-98), les corpuscules électriques (chap. V, pp. 99-119), les phénomènes de radioactivité (chap. VI, pp. 120-148), la théorie électronique des métaux (chap. VII, pp. 149-174), l'énergie rayonnante (chap. VIII, pp. 175-205), les rayons X et la constitution des cristaux (chap. IX, pp. 206-231), la structure des atomes et des molécules.

Le Chap. I (pp. 1-14) contient des notes historiques sur la théorie de la constitution des corps, le Chap. II (pp. 15-32) intitulé « Faits et hypothèses » et la Conclusion (pp. 250-254) insistent sur la différence entre l'étude philosophique et l'étude expérimentale de la matière. L'auteur s'est délibérément arrêté au point de vue de l'expérience coordonnée et affinée que résument les théories physiques.

H. D.

XII

Thermodynamics for engineers, par J. A. Ewing. Un vol. in-8° de xiii-383 pages. — Cambridge, University Press, 1920.

La thermodynamique devrait être avant tout une science d'application. En fait, la thermodynamique des grands traités classiques plane souvent si haut au-dessus des réalités pratiques qu'elle reste, pour l'ingénieur et même pour le physicien, une science inutilisée. Par contre, les ouvrages de thermodynamique « pratique » n'ont pas toujours la précision désirable au point de vue analytique. Que l'on songe, par exemple, aux nombreuses dérivées partielles dont cette science fait usage et dont parfois la notation même laisse à désirer au point de vue de la clarté.

L'ouvrage de M. Ewing se faufile entre ces deux critiques : c'est un traité de juste milieu. Les notions y sont introduites toujours sous leur forme physique, non-mathématique. Elles sont d'abord appliquées à quelques problèmes pratiques. Ce n'est qu'ensuite que l'analyse s'en empare pour établir entre elles les relations qui constituent la thermodynamique. Ces relations sont appliquées surtout à l'équation caractéristique des fluides, c'est leur application la plus utile ; et en particulier à l'étude de la vapeur dans les moteurs.

Le volume est divisé comme suit : *Principes fondamentaux. — Propriétés des fluides. — Théorie du moteur à vapeur. — Théorie de la réfrigération. — Ajutages et turbines. — Moteurs à combustion interne. — Équation générale de la thermodyna-*

mique. — Application aux fluides en général. — Effets de la tension superficielle sur la condensation et l'ébullition. — La théorie moléculaire des gaz. — Tables.

Un *Index* termine l'ouvrage et en fait un vade-mecum excessivement pratique pour l'ingénieur. Ajoutons que, comme toutes les œuvres sorties de l'University Press de Cambridge, celle-ci se recommande par un soin d'exécution matérielle remarquable qui en fait presque un ouvrage de luxe.

D. T.

XIII

Le Soufflage du verre, par Henri Vigreux, 2e édition. Un volume in-8° de xv-268 pages. — Paris, Dunod, 1920.

La guerre et la vie chère ont eu le plus fâcheux contre-coup sur les ressources de la plupart des laboratoires et instituts scientifiques. Plus que jamais le professeur, le directeur de travaux pratiques, le chercheur surtout, doivent s'ingénier à monter eux-mêmes, ou avec l'aide de leurs assistants, les appareils dont ils ont besoin. Le travail du verre a pris, à cet égard, une importance de plus en plus considérable.

Voilà pourquoi un ouvrage tel que celui de M. H. Vigreux sera accueilli avec joie dans les milieux scientifiques. Il comble une lacune, non seulement à cause des besoins nouveaux créés par la pénurie des ressources, mais encore parce que, jusqu'à ce jour, le souffleur de verre n'avait jamais mis le public dans la confidence de ses procédés délicats et de ses tours de main. Les petits manuels bien connus de W. A. Shenstone ou de H. Ebert, par exemple, n'enseignent guère que les opérations élémentaires, et surtout ils sont très sobres de détails sur les précautions à prendre au cours des diverses phases du travail, sur l'ordre à suivre dans les manipulations compliquées, etc.

Ce sont toutes ces indications, si précieuses pour la réussite des premiers essais et l'encouragement des débutants animés de la volonté d'aboutir, que nous trouvons dans le livre de M. H. Vigreux, et cela seul suffirait à lui assurer un accueil reconnaissant et une brillante carrière dans les laboratoires. Mais son mérite va plus loin. Il ne se borne pas à guider le souffleur dans la construction des appareils simples ordinaires, mais dans toutes les branches de l'industrie si variée des objets en verre susceptibles d'utilisation scientifique, depuis les bouchons

rodés et robinets, perles de verre, serpentins, soudures de toutes sortes, jusqu'aux appareils à distiller, à rectifier, à doser, trompes, régulateurs, manomètres, thermomètres, baromètres, ampoules à rayons X, et même aux yeux artificiels.

Il y a mieux encore. Maître distingué dans la pratique de son art, M. Vigreux est aussi un inventeur remarquable. On lui doit un nombre déjà respectable de perfectionnements ou d'appareils nouveaux qui ont conquis rapidement la faveur des savants. Tels sont, par exemple, son laveur-absorbeur pour le dosage du carbone dans les composés organiques, et le très ingénieux principe de ses réfrigérants et colonnes à rectifier à pointes de verre.

Une douzaine de pages de recettes utiles pour le travail du verre, graisses, glus, mastics, encres, etc. complètent très heureusement le volume et une table alphabétique en facilite l'emploi.

La première édition a paru en 1918 et fut rapidement épuisée. C'est assez dire combien cet excellent ouvrage est venu à son heure et avec quel bonheur il répond aux besoins.

V. S.

XIV

Éléments de Télégraphie sans Fil pratique, par F. Duroquier. Un vol. in-8° de 132 pages. — Paris, Dunod, 1920.

Cet ouvrage s'adresse aux débutants qui désirent, après quelques mots d'une théorie claire et succincte, se livrer aux nombreux et patients essais que nécessitent les montages les plus difficiles et les plus intéressants. L'auteur les conduit pas à pas à travers le vaste champ d'expériences possibles en T. S. F., en leur indiquant les résultats qu'il a obtenus lui-même. Ses conseils sont ceux d'un chercheur qui a étudié, comparé et même inventé : il nous signale, en effet, un détecteur Duroquier dont nous n'avons pu hélas ! que lire la description. Il étudie surtout la réception, et très abondants sont les détails de tous genres qu'il note sur les appareils qui la concernent : antenne, cohéreurs, relais, détecteurs, dispositifs enregistreurs, téléphones, self, condensateur, transformateur, renforçateur, amplificateur, combinaisons de montages. Des méthodes qu'il donne pour la construction d'appareils « réalisables en chambre » ne seront pas dédaignées de l'amateur. Un mot à propos des

ondes entretenues et des appareils qui les utilisent complète la partie expérimentale qui, notons-le en passant, tient compte, là où l'occasion s'en présente, des perfectionnements apportés en ces dernières années.

Ceux que les applications de T. S. F. intéressent liront dans une dernière partie, assez courte relativement au reste, beaucoup de renseignements concernant les grands postes, des listes d'indicatifs et des clefs de radios qui, nous l'avons constaté pour une partie d'entre elles au moins, présentent l'avantage d'être encore aujourd'hui celles qui servent à « déchiffrer » les émissions quotidiennes des grands postes.

E. Lebas.

XV

Les Colloïdes, par J. Duclaux, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur (Actualités scientifiques). Un vol in-16 (19 × 12) de VIII-288 pages avec 11 figures. — Paris, Gauthier-Villars, 1920.

Dans ces dernières années on a beaucoup écrit sur les Colloïdes, et le nombre de travaux ayant pour objet leur étude théorique atteint, d'après l'auteur, plusieurs centaines, sinon plusieurs milliers. Cependant, la science des colloïdes a une assez fâcheuse réputation : tous ces travaux en effet ne s'inspirent pas d'une doctrine unique, et, à moins d'être du métier, on se perd assez facilement au milieu de toutes les contradictions qu'on rencontre, à ce point qu'il n'est pas rare d'entendre que la théorie des colloïdes n'est pas faite. C'est cette idée fausse que l'auteur a voulu détruire. Personne, mieux que lui, n'était en état de le faire. M. Duclaux, en effet, n'a pas peu contribué à l'édification de cette théorie ; pour s'en convaincre, il suffit de parcourir la liste des nombreuses communications que de 1904 à 1910 il a faites sur ce sujet à l'Académie des sciences, ainsi que des articles que, pendant ces mêmes années, il faisait paraître dans le Journal de Chimie physique et la Zeitschrift für Kolloïde.

Le chapitre I commence par nous donner la définition du *colloïde*. Ce fut Graham, qui, en 1861, introduisit dans la science le terme de colloïde, ainsi que celui de cristalloïde qui lui est opposé. Certaines solutions passent à travers une membrane animale ou végétale, d'autres, au contraire, ne passent pas ; les premières, dialysables, constituent la classe des *cristalloïdes*, les

secondes, non dialysables, celle des *colloïdes*. Il y a d'ailleurs des colloïdes naturels (les tissus des êtres vivants sont presque entièrement formés de colloïdes), et il y en a d'artificiels tels que l'alumine, le bleu de Prusse, le sulfure d'arsenic, l'acide silicique et d'autres. Graham, en effet, a montré que ces composés sont des colloïdes qui peuvent être obtenus à l'état de solution en modifiant les conditions de l'expérience. C'est lui aussi qui a donné aux solutions colloïdales le nom abrégé de *sols*, et distingue, d'après la nature du dissolvant, les hydrosols, les alcoosols, etc.

Le chapitre II étudie les propriétés générales des solutions colloïdales, et surtout les caractères qui les distinguent des solutions ordinaires. Certains de ces caractères sont moins importants, comme, par exemple, la coloration, qui dans les solutions colloïdales est cependant souvent imprévue, la viscosité qui, dans les solutions colloïdales, augmente plus vite, avec la concentration, que dans les solutions ordinaires, une certaine rigidité qui manque dans les solutions des cristalloïdes, une saveur particulière assez différente de celle des cristalloïdes de composition voisine. Un caractère plus important est l'irréversibilité des transformations : un cristalloïde peut être dissous, extrait par évaporation de sa solution, dissous une seconde fois, et ainsi de suite sans que ses propriétés soient modifiées. Avec certains colloïdes, il en est de même, mais c'est là plutôt une exception ; en général, une solution colloïdale ne peut être traitée de cette manière sans une profonde altération; souvent le produit devient absolument insoluble. Mais la propriété qui sépare le plus nettement les colloïdes des cristalloïdes, c'est la coagulation ; elle consiste en ce qu'une matière à l'état de solution colloïdale peut être entièrement séparée du dissolvant, soit par l'action de la chaleur, soit par l'addition de certaines substances en faible quantité. Cette précipitation du sol est absolument différente de la précipitation des cristalloïdes de leur solution : en général elle est totale ; se produit par un grand nombre de réactifs de nature différente ; n'exige qu'une quantité fort minime de ce réactif (1 gr. d'ammoniaque peut précipiter 1300 gr. d'oxyde ferrique, pesé à l'état sec après calcination, soit plus de 1800 gr. d'hydrate réel) ; elle est en outre ordinairement un phénomène irréversible, et le précipité est absolument amorphe ; le plus souvent, il se forme en flocons ; parfois cependant le tout se prend en masse.

On a cherché à déterminer le poids moléculaire des colloïdes;

la chose n'est pas facile, et longtemps on a mis en doute la possibilité d'employer les méthodes habituelles de détermination des poids moléculaires. La méthode par la densité de la vapeur n'est certainement pas applicable, car aucune des substances que nous connaissons à l'état de solution colloïdale dans l'eau n'est volatilisable sans altération ; la cryoscopie présente, elle aussi, de grandes difficultés : d'abord l'abaissement du point de congélation est excessivement faible dans les solutions colloïdales ; beaucoup de physiciens la tenaient même pour nulle et croyaient que le petit abaissement observé était dû uniquement aux impuretés cristalloïdes qui se rencontrent nécessairement dans une solution colloïdale : quoique cette manière de voir ne corresponde pas à la réalité, l'influence des impuretés cristalloïdes est cependant considérable. La méthode est donc applicable et le poids moléculaire ainsi trouvé est fort grand ; pour l'amidon, par exemple, dont la formule minima $C_6H_{10}O_5$ correspondrait au poids moléculaire 162, on a trouvé de 20 000 à 30 000 et plus ; pour le glycogène, de même poids moléculaire théorique, on a trouvé au delà de 200 000. La grosseur des molécules des substances colloïdales est d'ailleurs confirmée par la lenteur avec laquelle ces substances diffusent, et surtout par leurs propriétés optiques et leur mode de filtration : c'est ce que l'auteur montre au chapitre III.

La solution d'un cristalloïde, si elle est pure, est bien limpide ; la solution d'un colloïde, au contraire, est souvent trouble et il est impossible de la clarifier par filtration. Un autre caractère est plus distinctif encore : une solution ordinaire est optiquement vide, c'est-à-dire que si elle est placée dans une cuve à faces parallèles, traversée par un faisceau lumineux aussi intense que possible, ce faisceau reste invisible à qui regarde par le côté de la cuve ; mais il n'en est pas de même pour les solutions colloïdales, dans lesquelles une sorte de brouillard dessine le passage du faisceau, tout à fait comme dans un liquide qui tient un corps solide très ténu en suspension. En présence de cette analogie, on a considéré les solutions colloïdales comme formées de grains excessivement petits en suspension dans l'eau. L'application de l'ultramicroscope aux solutions colloïdales a entièrement vérifié les hypothèses auxquelles ces propriétés optiques avaient conduit. Beaucoup de sols, même de ceux qui n'ont aucune tendance à déposer, sont facilement résolubles, c'est-à-dire que l'ultramicroscope y décèle la présence d'un nombre immense de petites particules ; dans certains cas, on a même pu les compter

et en déterminer les dimensions : ainsi dans un hydrosol d'or, contenant 1 cg. de métal par litre, les granules ont un diamètre de 0,01 μ. et il y en a environ 10^{18} dans un litre ; chacun de ces granules est formé de 30 000 atomes. Remarquons que la grandeur des granules est fort différente, même pour le même colloïde ; ainsi pour l'or on trouve des particules de 0,05 μ. à 0,002 μ.

Dès le moment où l'on soupçonnait dans les solutions colloïdales l'existence de particules très fines en suspension, l'idée devait naître d'essayer sur elles l'effet de la filtration, et de fait, on a pu construire des filtres excessivement fins (ultrafiltres), qui permettent de séparer du liquide au moins les plus grosses de ces particules, et même dans certains cas, de séparer partiellement, les unes des autres, les particules de grandeurs différentes.

Tout ce qui précède explique suffisamment les propriétés physiques des hydrosols ; mais ce ne sont pas là les seules propriétés de ces corps, et il y a souvent de grandes différences entre des particules de même grandeur de substances colloïdales différentes. Une question se pose donc : quelle est la constitution intime des particules du colloïde ? Cette question est traitée dans le chapitre IV.

Disons d'abord que les particules colloïdales sont désignées sous le nom de *micelles*. La micelle est, pour le colloïde, ce que la molécule chimique ordinaire est pour le cristalloïde ; le liquide dans lequel flottent les micelles est connu sous le nom de *liquide intermicellaire*. Ce liquide n'est pas et ne peut pas être de l'eau pure ; c'est une solution ordinaire, puisqu'il est supposé débarrassé de toute particule colloïdale. Quant à la micelle, elle non plus n'est pas un corps pur : elle renferme toujours en excès un des réactifs qui ont servi à la former ; ce réactif s'y trouve à l'état dissimulé au point de vue chimique, l'excès pouvant d'ailleurs être très variable suivant les conditions de l'expérience, et ceci n'est pas sans avoir une très grande importance en chimie analytique. Or, c'est précisément cet excès, cette *impureté*, qui joue dans le corps colloïdal le rôle essentiel : c'est la seule partie active du colloïde, le reste n'est qu'un amas de molécules inertes. La quantité de cette impureté, comme nous le disions plus haut, est variable : on peut, par exemple, la diminuer par la dialyse, mais en même temps les propriétés de la micelle changent et la stabilité de la solution diminue. Quant à l'*hydrogel*, c'est-à-dire l'hydrosol coagulé, il

diffère par sa composition de l'hydrosol ; notamment, il renferme certains des éléments du sel employé pour obtenir la coagulation. Cette impureté ne peut être éliminée que fort partiellement par le lavage ; au contraire on peut l'éliminer complètement par déplacement au moyen d'un autre sel. Tout se passe donc comme si le sol renfermait un acide MH ou une base MOH dans lesquels M représente une grosse masse complexe formée d'un très grand nombre de molécules du colloïde et de quelques autres atomes de nature différente, dont nous ne sommes pas en mesure de préciser l'arrangement.

Mais nous pouvons aller plus loin. Au chapitre V, l'auteur nous parle des colloïdes et de la théorie des ions. Les micelles minérales sont ionisées, comme le montre le fait que les particules colloïdales se meuvent dans un champ électrique et que les solutions colloïdales conduisent l'électricité. Il y a cependant à ce point de vue une différence capitale entre une solution ordinaire et une solution colloïdale : dans la solution ordinaire, tous les ions sont de grosseur et de valence comparables ; dans les micelles au contraire, un des ions, seul de son espèce, l'emporte de beaucoup comme grosseur et comme charge sur chacun des ions ordinaires qui l'accompagnent. Cet ion unique est désigné sous le nom de *granule* ; les autres sont les ions libres de la micelle. Il faudrait encore donner la constitution du granule. Celui-ci se compose d'un grand nombre d'atomes, sur l'arrangement desquels il existe plusieurs théories que l'auteur analyse successivement.

Dans le chapitre VI, il est question de l'*adsorption*. Il y a adsorption quand une substance gazeuse ou dissoute va se fixer sur une autre substance solide sans qu'il y ait ni réaction chimique, ni dissolution proprement dite. On peut dire que l'adsorption est un phénomène tout à fait général, surtout si les surfaces de contact sont suffisamment étendues, mais en même temps elle a un caractère spécifique : la proportion des corps adsorbés est fort différente suivant les cas ; la nature intime du phénomène est d'ailleurs encore mal connue. On peut admettre comme caractéristiques de l'adsorption les propriétés suivantes, qui ne sont du reste que différents énoncés du même fait : 1° Quand on met en présence d'un corps adsorbant des portions successives de corps adsorbable, les premières portions sont retenues beaucoup plus énergiquement que les suivantes ; 2° Quand on ajoute à des solutions de corps adsorbable une certaine quantité de corps adsorbant, ce sont les solutions

diluées qui perdent proportionnellement le plus ; 3° Une fois fixé sur l'adsorbant, le corps adsorbé est très difficilement enlevé par les lavages ; 4° La concentration dans l'adsorbant varie moins vite que la concentration dans le liquide, la différence étant d'autant plus grande que l'adsorption est plus forte. Remarquons en passant que l'industrie de la teinture est presque entièrement basée sur les phénomènes d'adsorption.

Il va sans dire que l'adsorption doit nécessairement jouer un grand rôle dans les solutions colloïdales ; la grande division de la matière dans cet état donne précisément ce développement de surface favorable à l'adsorption. Dans le chapitre VII, l'auteur s'occupe donc de ce qui dans l'adsorption intéresse principalement les colloïdes. Successivement il traite des impuretés des hydrogels, de l'adsorption dans les hydrosols, de l'équilibre dans les hydrosols ; il examine jusqu'à quel point la micelle peut être considérée comme un composé d'adsorption, ce qui ne semble pas exact, et quelle est l'influence de l'adsorption dans la coagulation. Mais ce qui dans ce chapitre est le plus intéressant, c'est l'étude du rôle de l'adsorption en biologie, rôle très important en raison de la nature colloïdale ou micellaire de la plupart des tissus. C'est ainsi que les lois de l'adsorption, et en particulier le caractère spécifique du phénomène, expliquent comment certaines matières toxiques (oxyde de carbone, sels de plomb ou de mercure, venin de serpents) peuvent, même en quantités minimes, provoquer dans l'organisme des troubles excessivement graves.

Dans les derniers chapitres, l'auteur étudie d'une façon plus explicite les colloïdes dans les êtres vivants, et montre comment, déjà par leurs propriétés physiques, les colloïdes conviennent mieux à la constitution des organismes que les cristalloïdes qui sont trop indéformables et partant trop fragiles. Au point de vue biologique, une notion très importante est celle de la pression osmotique. Il existe une pression osmotique propre aux hydrosols, elle est assez faible et sous la dépendance de la dissociation électrolytique de la micelle ; cette pression peut être augmentée par concentration ; toutefois il existe pour tout hydrosol une pression osmotique maxima compatible avec l'état liquide. Tant qu'on se tient au-dessous de cette pression, on peut concentrer l'hydrosol sans aucun changement d'état : d'une façon réversible, par conséquent ; au-dessus de cette pression se produit la coagulation. Or, tout cela a son influence sur la coagulation, la viscosité du sang ; l'importance de la pres-

sion osmotique micellaire n'est même pas limitée au sang, mais s'étend à tous les tissus. Il semble qu'on ne s'écartera pas de la vérité en admettant, d'une façon tout à fait générale, que les tissus jeunes ont une pression osmotique micellaire supérieure à celle des tissus plus anciens. La croissance semble le fait de micelles très actives, fortement ionisées, et dont la pression osmotique doit être considérable. Au contraire, les tissus morts, sclérosés, ne renferment plus que des micelles coagulées, agglomérées et déshydratées, dont la solubilité est devenue nulle. C'est encore la pression osmotique des différents tissus, ou, si l'on veut, des différentes cellules qui détermine l'équilibre de l'eau entre les différents organes, ce qui est certainement un des facteurs les plus importants de la santé d'un organisme. Toute cellule, dont la pression osmotique diminue, doit perdre de l'eau ; elle se dégonfle, entre dans un état de vie ralentie. Si la coagulation est réversible, c'est-à-dire si le protoplasme a une pression osmotique propre élevée, cette période de vie ralentie peut prendre fin par suite d'une réabsorption d'eau qui rendra à la cellule ses propriétés premières ; si, au contraire, la dessiccation de la cellule est poussée assez loin pour qu'il se produise une coagulation irréversible, le résultat ne peut guère être qu'une sclérose graduelle de la cellule. La présence de poisons diminuant l'ionisation des micelles aura pour effet de rendre cette sclérose beaucoup plus facile. De tout ceci il résulte que l'étude générale des substances colloïdales présente une importance capitale pour la chimie biologique, la physiologie et la médecine.

L'ouvrage se termine par un chapitre sur la Technique de l'étude des colloïdes, que l'auteur lui-même résume de la façon suivante : « Comme on le voit, l'étude d'un colloïde n'est pas une chose simple ; nous n'y pouvons rien. Un colloïde est une symbiose de matière inerte et d'ions : il est impossible que la facilité de son étude ne se ressente pas de cette constitution complexe.

» Peut-être pensera-t-on que le souci de rigueur manifesté dans ce chapitre est hors de propos, qu'il n'y a pas besoin de tant de complications, et que, pour appeler crûment les choses par leur nom, l'auteur a partout coupé les cheveux en quatre ?

» Il est possible et souhaitable que l'étude des colloïdes se simplifie ; mais cela ne pourra être que par la découverte de nouvelles lois, que rien encore ne permet d'entrevoir. En attendant, il faut tout de même faire quelque chose qui tienne. Il n'y a pas

deux manières, et il faut bien se convaincre que l'étude des colloïdes ne commencera réellement à porter des fruits que le jour où elle sera faite comme elle doit l'être, et non pas comme il est le plus facile de le faire. »

F. S.

XVI

Bibliografia general de Tremblores y terremotos, par F. de Montessus de Ballore, publié par la Société chilienne d'histoire et de géographie ; 8 vol. de 1515 pages. — Santiago-de-Chili, Imprimerie de l'Université, 1915-1919.

L'étude des tremblements de terre a progressé d'une manière si rapide depuis vingt ans, qu'elle s'est constituée en une science indépendante. — La *sismologie* demeure apparentée sans doute par ses méthodes à la mécanique et à la physique, comme à la géologie et à la géographie physique, mais, par sa documentation, ses résultats, qui s'expriment en théories générales et qui apportent déjà une contribution à d'autres sciences, par ses applications pratiques, elle forme de plus en plus un domaine spécial, qui tend à se préciser et à se compléter.

M. de Montessus est l'un des savants qui ont le plus efficacement coopéré à ces progrès. Ses ouvrages antérieurs : *Les Tremblements de Terre, géographie sismologique,* paru en 1906, et *La Science sismologique,* en 1907, ont marqué une date importante, en montrant la dépendance des tremblements de terre vis-à-vis de la formation du relief terrestre, et en substituant à la notion d'*épicentre* la conception de *surfaces en mouvement,* plus générale et plus conforme à la nature du tremblement de terre. — Devenu depuis cette époque directeur du Service sismologique du Chili, M. de Montessus s'est trouvé dans une situation exceptionnellement favorable pour compléter son information, suivre sur place les phénomènes sismiques dans un des pays les plus secoués du globe, en observer les conséquences et formuler les règles pratiques à observer pour réduire au minimum les conséquences de ces phénomènes trop souvent désastreux pour les établissements humains.

Aussi la *Bibliographie générale des Tremblements de Terre* qu'il publie est-elle le dossier le plus complet qui ait jamais été réuni sur le sujet. Elle comprend 8 volumes qui ont paru successivement de 1915 à 1919. Les ouvrages descriptifs, articles

de revues, théories, mentions offrant un intérêt historique, répartition géographique, sont inscrits, analysés succinctement ou appréciés d'un mot, et groupés sous les titres suivants : Vol. I (1915) : Théories sismologiques ; effets géologiques des tremblements de terre ; catalogues des séismes généraux ; — Vol. II (1915) : Europe septentrionale et centrale ; — Vol. III (1915) : Pays circumméditerranéens ; — Vol. IV (1916) : Asie, Afrique, Océanie ; — Vol. V (1916) : Amérique, Terres antarctiques, Océans ; — Vol. VI (1917) : Phénomènes accessoires ; relations avec les autres phénomènes naturels ; les séismes et l'architecture ; littérature sismique ; histoire de la sismologie ; varia ; — Vol. VII et VIII (1917 et 1919) : Suppléments.

Les 8 volumes parus ne comprennent pas moins de 9140 numéros. C'est déjà, et ce sera plus encore un instrument de travail précieux quand auront paru, avec les derniers volumes, les tables des noms d'auteurs cités, qui en rendront l'usage encore plus aisé et plus pratique.

Lille. G. Delépine.

XVII

Causeries sur des questions d'hygiène morale, par le Dr Xavier Francotte, professeur de médecine mentale à l'Université de Liége. Un vol. de 163 pages. — Liége, Wykmans, 1920.

En publiant ces causeries, le savant auteur entend surtout faire une bonne action. Il a soin de nous avertir lui-même de ne point chercher en ces pages, sans prétention scientifique, un exposé doctrinal systématique, complet, nuancé, classant et distinguant les maladies « morales », afin de proportionner aux divers cas les conseils et les traitements. Toutefois, sous cette forme modeste et vulgarisée, on reconnaît une science authentique, riche d'expérience, qui apprend à maîtriser les émotions, à corriger les illusions et les écarts de l'imagination, à surmonter la tristesse et la peur.

Au centre de cet opuscule, et comme à la place d'honneur, un entretien sur le sentiment religieux proclame assez haut que, pour le médecin chrétien, il n'y a pas d'hygiène morale sans religion. Du reste cette conviction sincère, communicative, s'affirme, sans crainte et sans ostentation, d'un bout à l'autre de ces bienfaisantes causeries.

Des exemples, des traits historiques éveillent ou soutiennent,

un peu longuement parfois, l'attention du lecteur. On pourrait çà et là en discuter l'interprétation, mais ce serait une chicane sans importance. Les observations personnelles de l'éminent professeur sont autrement persuasives. Souhaitons que ses sages conseils soient docilement suivis.

L. P.

XVIII

Le Dottrine moderne della delinquenza, par Fr. Ag. Gemelli, O. F. M., critiche delle dottrine criminali positive, 3e éd. Un vol. de XVI-212 pages. — Milan, 1920.

Le progrès incessant des théories scientifiques rend de plus en plus nécessaires au public cultivé de bons travaux de vulgarisation. En deux cents pages, écrites d'une plume alerte, le P. Gemelli nous donne un exposé critique, très substantiel, des thèses les plus en vogue sur la criminalité.

Quelques philosophes, dans leur explication du délit, isolaient trop, sans doute, la volonté des conditions physiologiques et des influences sociales dont elle dépend. Passant à l'extrême opposé, la principale école moderne d'anthropologie criminelle a voulu tout expliquer par le développement ou la dégénérescence du système osseux ou nerveux. Son chef, Lombroso, s'est acquis une célébrité en faisant de tout criminel un dégénéré, un hystérique ou un fou. Déjà ses élèves ont compris que, dans l'explication de ce problème compliqué, les sciences psychologiques n'avaient pas un moindre rôle que les sciences biologiques. La plupart cependant persistent à rejeter le libre arbitre comme un facteur rebelle ou insondable à l'étude scientifique. Sur ce nouveau terrain, la psychologie spiritualiste a pourtant trouvé d'éminents défenseurs et les théories lombrosiennes sont partout en recul, grâce aux travaux des Janet, des Joly et des Grasset. L'équivalence de la folie, de l'hystérie, du tempérament dégénéré avec le crime est une formule simpliste qui disparaît des livres vraiment scientifiques. Heureusement ! Car, de nos jours, ces thèses ne restent plus confinées dans les livres des anthropologistes et des philosophes. Proposées à la barre de nos tribunaux, elles expliquent certaines sentences qui scandalisent et inquiètent à bon droit l'opinion. Exposées dans les parlements européens, elles cherchent à s'infiltrer dans les textes des Codes criminels. C'est dire l'intérêt du sujet exposé par le P. Gemelli

et cela explique son succès. Il y a tout profit à suivre, sur un terrain qu'il a longtemps exploré, ce guide sûr et averti.

J. C.

XIX

Le problème de l'évolution, par Adolf Spaldak. Essai d'un système explicatif des formes naturelles. Un volume in-16 de 154 pages. — Paris, Beauchesne, 1919.

Ce petit livre, fort érudit, est riche de vues originales et parfois profondes. A considérer la précision des faits qu'il apporte, on le croirait écrit par un naturaliste ; à en envisager l'inspiration théorique et la tendance générale, on l'attribuerait plutôt à un philosophe de tempérament leibnizien. Et ceci doit être noté.

Tout l'effort de l'auteur tend à combattre l'évolutionnisme biologique, en ressuscitant, contre cette théorie à la mode, l'explication — un peu délaissée — de l'unité et de la diversité des formes organiques par *l'unité d'un plan idéal*.

Il serait impossible de discuter en quatre lignes cette tentative. Bornons-nous à dire qu'elle mérite l'attention, car elle soulève de gros problèmes de méthodologie scientifique. Si l'on nous permettait, cependant, d'exprimer notre modeste avis, nous formulerions deux réserves principales :

1° L'idéal de la théorie scientifique n'est pas, ou n'est pas seulement, une interprétation *rationnelle* des faits, mais une interprétation *empirique* de ceux-ci, poussée aussi loin que possible. Si l'hypothèse évolutionniste, malgré ses difficultés internes, garde la faveur des hommes de science, c'est avant tout parce qu'elle écarte le danger d'un recours prématuré aux causalités transcendantes. Étant donnée la structure des sciences modernes, ce principe méthodologique (à condition de ne point revêtir de signification exclusive) peut sembler parfaitement raisonnable.

2° *L'unité d'un plan idéal*, si elle contredit un mécanicisme étroit, ne s'oppose point, de soi, *à toute* théorie évolutionniste. Au lieu de voir, à chaque instant, dans la nature, la réalisation statique et fragmentée des unités partielles d'un plan idéal, pourquoi n'y verrait-on pas (si les faits s'y prêtent) le développement actif et continu de ce plan par le jeu organique des causes secondes ? N'y a-t-il point une manière — très scolas-

tique — d'entendre la « finalité interne », qui s'accommoderait à merveille des conceptions évolutionnistes? A vrai dire, la réponse à ces questions appellerait une solution orthodoxe à la sempiternelle antinomie du « mécanisme » et de la « finalité ». On voit que le travail de M. Spaldak n'est point dénué d'intérêt pour le philosophe.

J. M.

XX

La Responsabilité. Étude de Sociologie, par Paul Fauconnet, chargé d'un cours de Philosophie sociale à la Faculté des Lettres de Toulouse. Un vol. in-8°, de la Bibliothèque de Philosophie contemporaine. — Paris, Félix Alcan, 1920.

L'ouvrage que nous analysons ici avait été entrepris et presque terminé, avant la guerre, sous l'inspiration de feu E. Durkheim. C'est une étude compacte et méthodiquement conduite, qui mériterait d'être examinée, et au besoin discutée, dans le détail. Nous en indiquerons seulement les très grandes lignes.

L'étude de la responsabilité semblerait, à première vue, le domaine réservé du philosophe, et subsidiairement, du juriste. Pourtant, l'idée abstraite de responsabilité s'incorpore toujours à des faits concrets, à des « faits de responsabilité », qui sont des « faits sociaux » : la « conscience collective » prononce la responsabilité de tels et tels sujets, dans telles et telles circonstances. Or l'analyse de l'origine, du développement, des variations de ces « jugements de responsabilité » constitue, à proprement parler, une recherche *positive*. « Ainsi, dit l'auteur, c'est à un problème ordinairement abandonné à la philosophie que nous prétendons appliquer la méthode de l'histoire ». (Introduction, p. 21).

On serait tenté d'objecter dès maintenant, à M. Fauconnet, que l'objet formel de son investigation historique, parfaitement légitime et intéressante, diffère totalement de l'objet formel envisagé par le métaphysicien lorsque celui-ci déduit la responsabilité morale au moyen de « jugements de valeur » absolus. Mais développer cette objection — qui n'est point une chicane — reviendrait à faire le procès de l'école sociologique de M. Durkheim. Quoi qu'il en soit, la méthode de M. Fauconnet permet au moins d'atteindre le résultat suivant : déterminer ce qu'est essentiellement la responsabilité comme exigence vivante de la collectivité humaine.

Dans la première partie du volume, deux enquêtes préalables, largement menées à travers les pratiques et les institutions de tous peuples et de toutes époques, déblaient le terrain pour un examen critique. Nous constatons d'abord que les *sujets tenus pour responsables* et victimes de la sanction (il s'agit presque exclusivement de responsabilité pénale) ne furent pas uniquement les auteurs conscients et volontaires du délit ou du crime, mais des enfants, des aliénés, la collectivité familiale ou politique, le cadavre même, les animaux et les choses inanimées : « tous les êtres sont donc virtuellement aptes à devenir responsables ». Parcourant ensuite les « *situations génératrices de responsabilité* », nous y découvrons pareillement la variété la plus inattendue : évidemment, d'abord et surtout « l'intervention active et volontaire dans le crime », puis « l'intervention de la seule volonté dans la faute interne », « l'intervention du corps seul dans l'infraction matérielle », « l'intervention passive », « l'intervention indirecte ».

Y a-t-il, dans ces diverses « situations génératrices de responsabilité », un facteur commun, qui puisse en être abstrait et érigé en « principe élémentaire de toute responsabilité » ?

A cette question répondent les « doctrines » courantes, soit philosophiques, soit historiques, dont le trait commun est de rattacher la responsabilité à la causalité personnelle de l'agent du délit. M. Fauconnet montre l'insuffisance des théories appuyées sur ce rapprochement exclusif de la causalité et de la responsabilité : ou bien elles ne rendent point compte de faits incontestables, que parfois elles ignorent ; ou bien, tenant compte de tous les faits, elles décrètent le caractère « aberrant » d'un certain nombre d'entre eux et invoquent, pour expliquer l'aberration, des circonstances intellectuelles, morales et religieuses tout à fait inadéquates.

Conclusion : il n'y a pas de faits aberrants de responsabilité. Tous sont du même ordre et doivent s'expliquer par les mêmes principes.

Voici dans quel sens on devrait chercher cette explication.

La responsabilité présente toujours, à la fois, un aspect *objectif* (la considération du crime à venger et des objets en relation avec le crime) et un aspect *subjectif* (la considération psychologique du sujet responsable). Originairement, l'aspect objectif prédomine : « c'est par rapport au crime, non par rapport au patient, que la sanction s'oriente d'abord ». Dans la « conscience collective », le crime exige la vindicte. Mais la

vindicte appelle une victime, sur laquelle tombera la sanction. Le choix de la victime, qui sera tenue pour responsable, importe moins, à l'origine, que la nécessité sociale de restaurer l'ordre par la sanction. Il faudra, évidemment, que la victime supporte une certaine relation avec le crime ; mais non pas toujours la relation de cause à effet. L'essentiel, pour la conscience collective, c'est que la victime soit telle que les émotions justicières soulevées par le crime puissent être « transférées » à elle et satisfaites sur elle. Il subsiste, aujourd'hui même, des traces non équivoques de cette disjonction, jadis fréquente, de la responsabilité morale et de la responsabilité pénale.

L'auteur montre, par des exemples historiques, comment la conscience morale « objective » rendait nécessaires une « institution » et des « règles » de la responsabilité ; comment la désignation du sujet pénalement responsable, d'abord assez indéterminée et principalement émotionnelle, se régla de plus en plus sur l'aspect « subjectif » et personnel de l'imputabilité, jusqu'à se confondre, finalement, dans nos législations modernes, avec la mesure même de la *responsabilité morale* de l'agent volontaire.

Cette évolution marque une véritable « spiritualisation de la responsabilité », sans toutefois effacer entièrement les éléments objectifs et matériels de celle-ci. Il faut remarquer d'ailleurs que, dans le droit pénal actuel, le jugement de responsabilité procède d'un « compromis bâtard » entre des points de vue systématiques aussi différents que sont la prévention de crimes futurs et l'expiation du crime passé. Complication nouvelle d'un problème qui, traité par la méthode historique et positive, n'apparaissait déjà pas si simple.

Dans un dernier chapitre, intitulé : *Sentiment de responsabilité et sentiment de liberté,* l'auteur rejoint le côté strictement philosophique de la notion étudiée, et conclut en ces termes :

« Nous ne prétendons nullement prendre à notre compte une théorie du libre-arbitre. Il s'agit seulement ici de montrer comment certaines croyances morales, qu'exprime plus ou moins fidèlement la philosophie indéterministe, peuvent provenir d'expériences exactes et correspondre à des réalités. La responsabilité — si notre théorie est juste — est engendrée dans des conditions qui sont précisément quelques-unes de celles dont on affirme l'existence, quand on déclare que l'homme possède le libre-arbitre » (p. 392).

Qu'on n'induise point de là que l'homme *est* responsable

parce qu'il est libre, mais seulement que l'homme *se sent* libre à mesure qu'il dégage mieux, de la notion originairement confuse de sa responsabilité, les éléments subjectifs et moraux qu'elle renferme.

J. M.

XXI

THE GROUP MIND, a sketch of the principles of collective psychology with some attempt to apply them to the interpretation of national life and character, par WILLIAM MAC DOUGALL. Un vol. in-8° de XVI + 304 pages. — University Press, Cambridge, 1920.

Quand M. Mc Dougall publia, en 1908, son « Introduction à la Psychologie Sociale », il rencontra beaucoup de critiques même parmi les admirateurs de son ouvrage, auquel on reprochait de n'être en réalité qu'une étude de psychologie individuelle prise d'un angle particulier. Son dernier livre prête moins à ce reproche ; il fait un réel effort pour analyser l' « âme collective ». M. Mc Dougall entend par là un système organisé de forces mentales particulier à un groupe organisé d'hommes et spécifiquement différent des âmes individuelles des membres du groupe. Toutefois, pour éviter un malentendu, remarquons dès l'abord que l'auteur rejette « provisoirement » la théorie d'une âme sociale qui impliquerait, outre et par dessus les consciences individuelles des membres, une surconscience vraiment une de la société.

Il consacre plusieurs pages à la défense de sa conception de l'âme collective contre les critiques de M. Maciver ; mais le lecteur reste sous l'impression que les adversaires discutent sans se rencontrer. M. Maciver entend le terme d'âme collective dans un sens plus strict que M. Mc Dougall, pour qui ce mot semble ne désigner qu'une sorte de trait d'union rattachant les diverses actions et réactions des âmes individuelles dans le cadre historique d'une société organisée. Somme toute, on ne voit guère que l'auteur ait prouvé ni sérieusement prétendu prouver autre chose.

Dans la première des trois parties qui divisent son livre, il discute la psychologie des groupements humains en général, passant du stade de l'agrégat ou foule occasionnelle à celui de l'armée disciplinée. Cette première partie est de loin la meilleure ;

elle contient nombre de vues judicieuses et de faits intéressants relativement à la vie mentale des groupes et à l'importance de la vie collective pour le développement moral de l'humanité.

La seconde partie traite de l'âme et du caractère national. L'auteur s'efforce, non sans succès, d'analyser des concepts vraiment fuyants ; mais on peut dire que plus il s'éloigne de la psychologie pour verser dans l'étymologie et moins il réussit.

Comme exemple de généralisation indue, mentionnons l'attribution à l'esprit d'indépendance qui caractérise la race saxonne du passage de l'Angleterre au protestantisme. C'est là une conception ancienne et typique de beaucoup d'Anglais, conception qui néglige complètement un certain nombre de faits indiscutables, par exemple que les Gallois, qui sont des Celtes, sont encore plus violemment protestants que les Anglais ; que les Bretons et les Irlandais, celtes eux aussi, sont catholiques tout autant que les Gallois sont protestants ; que même les Européens de l'Europe méridionale ne sont pas unanimement catholiques, bien loin de là ; et que le *peuple* anglais résista vigoureusement à la Réforme, qui fut accomplie par une dynastie galloise.

L'ethnographie et l'ethnologie prédominent dans la troisième partie qui traite de l'évolution racique et nationale, et qui n'apporte que peu ou pas de contributions originales à ces sciences.

M. Mc Dougall nous a donné un livre qui sera lu avec intérêt par ceux qui s'emploient à créer une science de la sociologie suivant la conception d'Auguste Comte.

L. Watt, S. J.

XXII

Archivio Italiano di psicologia, pubblicato dai proffessori F. Kiesow e A. Gemelli.

Nous signalons à nos lecteurs cette nouvelle revue de psychologie. Elle publie les travaux de psychologie épars dans les actes des Académies et dans les recueils étrangers de mémoires. Elle remplit le rôle de publication documentaire à côté de la *Rivista di psicologia* qui continuera son rôle d'organe de haute vulgarisation.

XXIII

Pax Economica, par Henri Lambert. Un vol. de 324 pages. — Bruxelles, Lamertin, 1920.

Les écrits de M. H. Lambert offrent le double attrait des thèses catégoriques et de la richesse des aperçus.

Libre-échangiste ardent — nous dirions presque intempérant — l'auteur voit dans l'application radicale de sa doctrine « le fondement nécessaire et suffisant de la paix universelle ».

Que n'a-t-il raison et que ne peut-il réaliser son rêve !

Sans souscrire à sa thèse dans ce qu'elle a d'absolu, ni à tous ses arguments, nous les signalons à ceux qu'intéressent les questions politico-économiques dont dépendent la prospérité et la paix du monde.

V. F.

XXIV

La science et l'industrie françaises en 1919-1920. Ce qu'elles nous ont donné. Ce qu'elles nous promettent, par H. Willotte, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, lauréat de l'Institut. Un volume in-18 jésus de 376 pages, avec figures dans le texte. — Paris, Doin, 1920.

Cet ouvrage n'est pas un livre au sens ordinaire du mot, c'est un recueil, très intéressant sans doute, où se trouvent résumées des conférences sur les sujets les plus divers (tuberculose osseuse, bateaux en ciment armé, aviation) et des publications sur la houille blanche, les chemins de fer français, la pêche maritime, les ressources minérales de l'Alsace-Lorraine, le tout uni par la mise en relief du rôle des ingénieurs et des savants français. M. Willotte expose aussi les ressources inconnues des océans et les moyens nouveaux adoptés par les chalutiers à vapeur pour approvisionner régulièrement les ports de pêche. Une comparaison avec les ports étrangers montre l'activité des pêcheurs français, le bon outillage de leurs bassins et des moyens de transport de poisson frais à l'intérieur du pays. Que peut donner la houille blanche à l'industrie française ? Question à laquelle sont consacrées soixante pages du recueil : évaluation approximative des forces hydrauliques disponibles en France, lacs artificiels, fours électriques, motifs de la faible pro-

portion des forces hydrauliques utilisées en France. Le chapitre consacré aux chemins de fer offre un exposé clair et intéressant du perfectionnement des locomotives et du matériel roulant.

J. C.

XXV

La crise du combustible et ses remèdes, par Aimé Witz, correspondant de l'Institut. — Un vol. in-16, 164 pages. — Paris, Doin, 1920.

Les quatre chapitres de ce petit livre sont le fruit des réflexions qu'a suggérées à M. Witz la grave pénurie de combustible dont souffre la France principalement. Cette pénurie a déjà créé chez nos voisins une véritable famine ; et elle met leur industrie en péril. La cause du mal est l'insuffisance de l'extraction, aggravée par la difficulté des transports, par une répartition défectueuse des disponibilités et par une utilisation souvent irrationnelle des ressources. Il y a un remède à cette situation dangereuse : il faudra se restreindre en tout, supprimer non seulement le gaspillage, mais encore le luxe, et réaliser des économies dans tous les domaines. Restriction et économie stricte, c'est le cri général. Mais les économistes et les techniciens ne sont pas d'accord, lorsqu'il faut choisir la façon : jamais, en effet, problème plus difficile n'a été posé à l'ingénieur.

M. Witz entreprend une enquête serrée, afin de se rendre compte de l'usage qui se fait du précieux combustible : à quel endroit faudra-t-il réduire le plus la dépense? par quels moyens appropriés et immédiats? peut-on suppléer au manque de houille par des succédanés ou des adjuvants ? Comment améliorer le rendement des combustibles en calories et des calories en kilogrammètres ?

Il faut lire attentivement ces quatre chapitres documentés. Citons le dernier dans lequel M. Witz entrevoit l'essor accru des grandes centrales électriques. Celles-ci produisent l'énergie sous une forme supérieure et qui se prête à des applications multiples et variées. Les centrales électriques envoient l'énergie au loin avec des pertes qu'on réduit à volonté en augmentant la tension et la section de ses conduites ; elles la distribuent partout suivant la demande. De vastes projets ont été conçus dans tous les pays. L'Allemagne elle-même, dont la puissance industrielle n'est pas brisée, va relier ses ports de la Baltique aux stations

hydro-électriques de la Bavière, de la Saxe et de la Suisse. La France, tout en recueillant précieusement l'énergie issue des transformations métallurgiques, va mettre en œuvre ses immenses forces hydrauliques et créer un vaste réseau national. La Belgique, petite et ramassée sur elle-même, se propose la création de quelques artères principales reliant des centrales importantes. Ces stations, formant entre elles un tout organisé, fourniraient la force motrice à nos chemins de fer, l'éclairage à nos villes et à nos campagnes, un appoint d'énergie à nos innombrables usines. Cette concentration, réalisée par les méthodes scientifiques actuelles, permettra d'utiliser le combustible dans les conditions de la plus stricte économie, tout en assurant une grande sécurité et une extrême souplesse de fonctionnement. — Peut-être espère-t-on conjurer ainsi la crise menaçante et s'avancer sans angoisse vers un avenir meilleur ?

F. G.

XXVI

Du rôle de la Mémoire dans nos conceptions métaphysiques, esthétiques, passionnelles, actives, par Eugène d'Eichtal, membre de l'Institut. Un volume in-12 de la Bibliothèque de Philosophie contemporaine. — Paris, Alcan, 1920.

M. Eugène d'Eichtal est un économiste distingué. Il croit devoir justifier son incursion sur le terrain de la philosophie : « Il n'est pas interdit aux économistes de philosopher » (Avant-propos, p. 5). Assurément ; d'autant moins que la pensée est un bien banal et qu'il reste de mode, aujourd'hui comme hier, d'entrer dans la philosophie comme dans un moulin.

Le présent volume groupe quatre études distinctes, dont voici les titres : *Des rapports de la mémoire et de la métaphysique. — Mémoire et esthétique. — Mémoire et passions. — Mémoire, langage, action.* La première et la seconde étude ont paru dans la Revue philosophique en 1918 et 1919.

L'unité globale de ce livre composite est exprimée dans cette déclaration de l'auteur : « Après bien des années de réflexions, la mémoire m'est apparue définitivement la faculté maîtresse de l'humanité arrivée (par elle d'ailleurs) à un certain stade de civilisation » (Avant-propos, p. 6).

Quant à la méthode suivie, c'est exclusivement la méthode positiviste (nous prions qu'on veuille lire : « positiviste », et

non « positive ») ; non point le positivisme massif et surchargé de l'école de Durkheim, mais un positivisme plus dégagé et plus sommaire, de bon ton d'ailleurs : un positivisme d'homme du monde.

La méthode donne ce qu'elle peut. De là, sans doute, la diversité de valeur des quatre dissertations, plus ingénieuses que profondes, qui nous sont offertes. La première démontre une thèse psychologique qui n'est guère contestée : à savoir, la participation de la mémoire à toutes les opérations supérieures de l'esprit humain ; mais elle trahit en même temps une singulière incompréhension de l'objet et des procédés de la métaphysique. La seconde dissertation : *Mémoire et esthétique,* qui demeure sur un terrain accessible à l'empirisme positiviste, est beaucoup plus intéressante, souvent juste et fine. Des deux dernières études, assez courtes, il n'y a point à médire, mais seulement à remarquer que leur claire élégance n'a rien de « technique ».

Les psychologues de métier — qui ne sont pas seuls au monde, grâce à Dieu — ne considéreront point ce livre comme un outil de travail.

J. M.

XXVII

Non-aristotelian Logic, by Henry Bradford Smith. Une brochure in-8° de 1-40 pages. — Philadelphia, The College Book store, 1919.

Ces quelques pages, faisant suite au livre « Primer of Logic » du même auteur, ont en vue de montrer la possibilité d'une extension de la logique classique qui lui permettrait de se faire accepter des logiciens plus récents. Il n'est guère possible, après une aussi brève initiation, de formuler une appréciation définitive sur cette école de calcul logistique qui fait preuve assurément d'une réflexion très méthodique.

R. L.

XVIII

Le système d'Aristote, par O. Hamelin, chargé de cours à la Sorbonne. Un vol. in-8° de III-428 pages. — Paris, Alcan, 1920.

Ce livre contient une série de conférences données à la Sorbonne par M. O. Hamelin. C'est un exposé bien ordonné du

système d'Aristote. Il serait superflu d'en faire l'éloge. Nulle part, croyons-nous, pas même dans son ouvrage sur Descartes, le regretté maître n'a su concilier, avec la même maîtrise, l'analyse philologique du texte, avec la compréhension totale de l'esprit d'une doctrine.

Le chapitre premier, consacré en partie au point de départ d'Aristote, jette une lumière vive et vraiment insoupçonnée sur toute la théorie subséquente du jugement et du raisonnement. On croit entendre le prélude du critère de vérité cartésien. L'auteur laisse cependant trop dans l'ombre la divergence profonde entre les positions respectives des deux penseurs.

Le chapitre sur l'opposition des concepts est un chef-d'œuvre d'analyse et de critique. Il y est montré nettement qu'Aristote avait déjà le pressentiment que l'opposition fondamentale est l'opposition relative.

Le chapitre consacré au syllogisme me paraît définitif.

Le dernier chapitre seul laisse à désirer. L'auteur y a confondu deux notions, qui, me semble-t-il, sont distinguées par Aristote lui-même : la notion de l'être comme tel, τὸ ὄν ᾗ ὄν, et la notion de l'être pur.

L'être comme tel est bien une abstraction, un universel, mais de cette universalité particulière qui s'appelle *analogie*. L'être pur au contraire, n'est pas abstrait, c'est un être vivant, réel, et dont la caractéristique la plus importante est d'être « esprit subsistant », νόησις νοήσεως.

S'il est individu, c'est d'une façon qui n'a rien à voir avec l'individualité des êtres d'une même espèce. Il l'est par plénitude, ceux-ci le sont par déficience. Il n'y a donc aucune contradiction à dire que les êtres d'une même espèce doivent leur individualité à leur matière, tandis que les êtres qui sont formes pures la doivent à leur forme même. Il y a individualité par la matière quand les êtres n'épuisent pas leur forme ; il y a individualité par la forme quand l'être embrasse cette forme tout entière.

A part ce dernier chapitre, on peut dire que le *Système d'Aristote* par O. Hamelin est le meilleur ouvrage sur le grand métaphysicien grec.

H. Thielemans, S. J.

XXIX

La part des croyants dans le progrès de la science au XIXe siècle, par Antonin Eymieu. 1re Partie : Dans les sciences exactes, 3e édit., 1-272 pages. — 2e Partie : Dans les sciences naturelles, 2e édit., 1-308 pages. — Paris, Perrin, 1919 et 1920.

Les ouvrages du P. Eymieu servent le public en servant la vérité ; je ne pense pas qu'il soit possible d'en faire un plus bel éloge, ni qui en dise mieux le caractère et la tendance. A moins d'être sceptique on reconnaîtra l'intérêt de premier ordre que nous avons à n'être point victimes de préjugés qui en imposent par l'audace et l'insistance qu'on met à les répandre, audace et insistance qui ne s'expliquent que par le besoin de suppléer aux preuves absentes et à la carence totale des aguments solides. Parmi ces préjugés, un des plus répandus assurément et des plus funestes est celui qui affirme le conflit fatal, l'opposition irréductible de la science et de la foi. A vrai dire, ce prétendu conflit ne fut guère aperçu par les meilleurs esprits ; des livres tels que « Science et Religion » de Boutroux en fourniraient au besoin la preuve ; la plupart dédaignèrent même de l'apercevoir et continuèrent tranquillement à unir à une foi sincère une science incontestée. Mais, au-dessous de cette élite, s'agite la masse des demi-savants — ils sont légion — des penseurs dits « libres », des primaires qui demandent à la Science des prétextes à ne plus croire, « les instituteurs » comme l'écrivait naguère M. Lamy, « déjà exposés à trouver dans les commencements de leur savoir la fin de leur croyance » ; ajoutez à ces parasites de la Science quelques spécialistes dépourvus d'horizon, étroitement confinés dans leur monde infinitésimal, peut-être même quelque vrai savant, sachant tout de la science, hormis ses limites et ce formidable inconnu qui l'encercle de toutes parts... et tout cela, à certaines heures, faisait chorus pour exclure de la Science les croyants et déclarer incompatibles l'esprit scientifique et l'assentiment de foi. J'en demande pardon à ces gens-là, mais il faut qu'ils déchantent. Des livres tels que ceux-ci portent à leur « dogme » un coup mortel. A moins toutefois qu'ils ne préfèrent se dispenser de le lire, et c'est ce qui ne manquera pas d'arriver, l'auteur n'ayant pas, au fond, écrit pour eux et n'espérant certainement pas les convertir ; il s'adresse aux esprits de bonne foi ou suffisamment pénétrés de l'esprit scientifique pour préférer la vérité, l'état objectif des

phénomènes à une antipathie subjective, un intérêt de secte ou de parti.

Et ce sera le sort assurément étrange de ce livre qu'il ne détruira pas le préjugé qu'il combat — les préjugés ont la vie dure — mais qu'il continuera à vivre en face de lui, à durer non moins que lui, car il est de ces livres auxquels on revient, qu'on consulte pour y trouver des armes, des arguments qui réduisent un bavard « ad metam silentii ». Le P. Eymieu ne sera pas seulement lu ; il sera « utilisé ». Je ne sais rien de plus flatteur, ni qui soit probablement plus conforme à ses intentions.

Je m'imagine que l'auteur, excédé à la longue d'entendre éternellement répéter une « sottise », se décida à lui opposer le bon sens, appuyé sur le témoignage incorruptible des faits. Les faits ont ceci de bon ou de gênant, qu'ils ne se laissent pas faire. » Facts are stubborn things », disent les Anglais. Vous prétendez qu'on ne peut être un savant et un croyant à la fois : voici M. Untel qui est l'un et l'autre, voici encore M. Untel ... Ainsi et non autrement, Diogène jadis, à ce qu'on rapporte, démontrait la possibilité du mouvement, en marchant. Et peu à peu, sous la plume du P. Eymieu, la liste des croyants savants et savants illustres s'allongea. Ses recherches s'élargirent en véritable enquête ; elle donna des résultats surprenants, accablants, faut-il le dire, pour une thèse qui n'est et ne fut jamais qu'une pure assertion en l'air. Disons tout de suite que cette enquête fut menée avec une rigueur toute scientifique et qu'au point de vue du sérieux, elle satisfera les plus exigeants. L'auteur en offre aujourd'hui les conclusions au public sous la forme de ces deux intéressants volumes.

Dans une introduction qui, avec la conclusion générale à la fin de la seconde partie, représente peut-être le morceau le plus original de l'ouvrage, l'auteur commence par définir exactement les termes mêmes du problème; il en circonscrit les limites précises, celles dans lesquelles il prétend le résoudre. Cette introduction m'a paru une belle leçon de probité scientifique, en même temps qu'un modèle dans l'art peu commun de ramener une question à ses termes essentiels, en les dégageant de toute ambiguïté. L'ordre général, adopté dans cette sorte de revue des plus grands noms scientifiques, s'inspire de la même rigueur logique. Des sciences les plus dignes de ce nom, celles qui s'approchent le plus du type idéal de la science, des sciences dites « exactes » qui nous mettent en face de véritables lois : Mathé-

matique, Astronomie, Physique, Chimie, l'auteur passe aux sciences naturelles, « celles qui possèdent au moindre degré la notion de loi », ou qui, d'origine relativement récente, n'ont pas dépassé la période des tâtonnements : Géologie, Paléontologie, Cytologie, Embryologie, etc., et il se trouve que « les savants les plus savants et les sciences les plus scientifiques sont les plus sympathiques à la religion » (T. II, p. 287). Le langage des faits donne raison au mot souvent cité de Cauchy, résumant une pensée de Bacon de Verulam : « Un peu de science éloigne de Dieu ; beaucoup y ramène ».

Je ne puis songer à analyser le corps même de l'ouvrage ; c'est une table de noms propres, signalant pour chacun d'eux, à côté des mérites scientifiques, les opinions ou les attitudes religieuses. Celles-ci ont été relevées avec une fidélité scrupuleuse, au prix d'un labeur et de recherches, dont ceux-là seulement soupçonneront l'importance qui suivront l'auteur jusqu'au chapitre final. Chose singulière, cet essai de statistique religieuse du monde savant se lit avec un intérêt qui ne languit pas un seul instant ; il instruit, sans jamais ennuyer. L'auteur, d'après le précepte classique, possède et pratique à merveille l'art de joindre l'agréable à l'utile. Dans le second volume, on jugera sans doute plus particulièrement captivant le chapitre concernant la Médecine. Le vieux proverbe « Tres medici, duo Athei » sort de cette lecture, fortement discrédité.

Un peu partout du reste, en cours de route, on rencontre des réflexions suggestives, celle-ci par exemple qui explique l'affinité du génie mathématique et du sentiment religieux, leur mutuelle sympathie : « De tous les savants, ce sont les mathématiciens qui » acceptent le plus facilement le dogme catholique : Renan avait » remarqué ce fait déjà, mais il ne l'a pas expliqué. Peut-être » serait-il possible de l'expliquer en notant que les mathémati- » ciens et les astronomes sont, de tous les savants, ceux qui font » au raisonnement la plus large place et qui sont le mieux habi- » tués à la confiance envers la raison » (T. II, p. 90). Ajoutons, pour donner une idée plus nette d'une œuvre, originale par tant de côtés, que l'enquête, le plus habituellement, y dépose ses conclusions sous forme de chiffres ; ils sont ici particulièrement éloquents. Comme spécimen, relatons ceux qui concernent les Chimistes : « Nous avons passé en revue, dit le P. Eymieu, » en dehors de Lavoisier, de Scheele et de Pasteur — et en » dehors d'Ampère, déjà compté parmi les physiciens — » 51 chimistes parmi les plus grands. Sur ce nombre, il y en a 8

» (Petit, Berthollet, Laurent, Mitscherlich, Kékulé, Hofmann, » Frankland, Roscoë) dont l'attitude religieuse nous est inconnue. » Il en reste donc 43 à classer, qui se répartissent ainsi : 1 athée » (Berthelot), 3 agnostiques (Bunsen, Van 't Hoff et Moissan) ; » 39 croyants et ce sont les Dalton et les Dumas, les Davy et les » Priestley, les Chevreul et les Thénard, les Berzélius et les » Liebig, les Deville et les Gibbs, les génies les plus hauts, les » créateurs les plus féconds » (T. I, p. 255).

En résumé, ce travail vise à extirper un préjugé propre au XIXe siècle : La science, principe du progrès matériel, celle dont les triomphes modifient les conditions de la vie humaine, serait incompatible avec la foi. Au fond, l'incompatibilité n'est invoquée que contre les Catholiques. Et cela est logique. Leur foi est la seule complète : elle est d'ordinaire intense et profonde ; elle devient piété et pratique de dévotion. C'est donc elle qui créerait l'obstacle le plus insurmontable à l'état d'esprit scientifique. Les faits démontrent que la prétendue opposition est inexistante. Un savant n'est nécessairement, ni un athée, ni un matérialiste ; il peut croire en Dieu et en l'immortalité de l'âme. C'est ce qu'établit brillamment l'enquête qui a donné naissance au nouvel ouvrage du P. Eymieu. Cette enquête devait forcément rester incomplète. L'auteur l'avoue sans détour. Telle qu'elle est, elle est une contribution des plus précieuses à l'apologétique contemporaine et vient augmenter très honorablement la série déjà longue des travaux si méritoires de l'auteur. Celui-ci, nous l'espérons, arrivera à transformer son œuvre, par des mises au point successives, en un répertoire à peu près complet des illustrations de la science du XIXe siècle au point de vue des convictions et des opinions religieuses. Si le P. Eymieu nous donne quelque jour le « Dictionnaire religieux des savants », ce sera, n'en doutons pas, au bénéfice égal de la science et de la foi.

FRANÇOIS JANSEN, S. J.

LISTE DES OUVRAGES

DONT LA REVUE PUBLIERA L'ANALYSE DANS UNE PROCHAINE LIVRAISON

GÉOMÉTRIE SYNTHÉTIQUE DES UNICURSALES, par E. BALLY. — Paris, 1920.
PRÉCIS DE CALCUL GÉOMÉTRIQUE, par R. LEVEUGLE. — Paris, 1920.
SPACE, TIME AND GRAVITATION, an outline of the general Relativity theory, par A. S. EDDINGTON. — Cambridge, 1920.
UTILISATION DES VAPEURS D'ÉCHAPPEMENT DANS LES HOUILLÈRES, par ADRIEN BARJOU. — Paris, 1920.
LA THÉORIE ÉLECTRIQUE MODERNE, par NORMAN ROBERT. — Paris, 1920.
LES PROGRÈS DE LA PHYSIQUE MOLÉCULAIRE, par Mme S. CURIE. — Paris, 1914.
PROBLEMS OF COSMOGONY, par J. H. JEANS. — Cambridge, 1919.
LA PHILOSOPHIE GÉOMÉTRIQUE DE HENRI POINCARÉ, par LOUIS ROUGIER. — Paris, 1920.
LES PARALOGISMES DU RATIONALISME, par LOUIS ROUGIER. — Paris, 1920.
SYCHOLOGIE DU RAISONNEMENT, par EUGENIO RIGNANO. — Paris, 1920.

REVUE
DES RECUEILS PÉRIODIQUES

BULLETIN DE PATHOLOGIE

De l'encéphalite léthargique. — Au moment même où paraissent ces lignes, une maladie étrange qui se montra peu après la fin de la grande guerre, et ne fut pas sans provoquer un étonnement mêlé d'inquiétude, semble faire un retour offensif dans notre pays ; les pouvoirs publics, avisés par l'Inspecteur d'Hygiène du gouvernement, viennent d'appeler sur cette menace l'attention du corps médical (1). Il ne sera pas sans intérêt de retracer à grands traits l'histoire de cette maladie, ses manifestations, ce qu'on sait de sa nature, des conditions de son développement et des moyens de préservation et de traitement à lui opposer.

La dernière épidémie à laquelle nous ayons assisté, celle qui frappa surtout les esprits en Belgique, a été observée en 1919 et au début de la présente année, mais elle paraît remonter, en réalité, aux premiers mois de 1918, rayonnant sur d'autres régions d'Europe, la France notamment où 41 cas furent décrits en 1919 ; l'année suivante, une recrudescence s'y produisit ; à l'Académie de médecine, Netter y renseignait 22 cas personnels et déclarait avoir connaissance de 100 autres cas (1). En Autriche (Vienne), elle fut décrite dès 1916-17 par Von Economo.

Ce n'était pas, pourtant, un mal absolument nouveau ; des manifestations morbides de même nature, jusqu'à cette somnolence léthargique qui a donné, un peu abusivement ce semble, son nom à cette forme d'encéphalite, avaient été observées en 1912 par J. Camerarius (à Tubingue) et dénommées par lui « Schlafenkrankheit », en 1919. En Belgique, à Bruges, des cas

(1) Bull. de l'Acad. de médecine, 20 janvier 1920.

étaient signalés par le Dr Van Boeckel, et, moins près de nous, en 1889-90, au moment de la décroissance d'une épidémie de grippe, une maladie à forme léthargique, qui reçut l'appellation de *nona*, fit son apparition dans le nord de l'Italie, d'où elle se répandit en Autriche, en Danemark, en Angleterre et jusqu'en Amérique.

Malgré la diversité de certaines de ses manifestations, et les formes frustes susceptibles de donner le change sur sa nature, l'encéphalite léthargique forme, dans son ensemble, un tableau symptomatique provoquant bien l'impression qu'on se trouve, comme on l'a dit, devant un fait nouveau, revêtant un type nosologique distinct ; il apparait bien qu'on a affaire à une infection générale ou toxhémie ayant son point de départ dans le névraxe. Le sujet est envahi par un alanguissement, une somnolence, qui peut être coupée de délires animés, et devenir bientôt une torpeur prolongée pouvant se terminer par un coma mortel. Le tableau suivant, emprunté à une description clinique bien conçue (1), retrace cet état : « Le malade (il s'agit d'un jeune ouvrier de 16 ans), a l'aspect figé, son corps n'est pas complètement étendu, sa tête ne reposant pas sur l'oreiller, il reste des heures sans bouger, le regard fixé droit devant lui, les traits immobiles. Interrogé, il répond lentement, avec effort, détachant chaque syllabe, mais sans échappement. Ses réponses sont toujours très précises, et bien adaptées aux questions. Puis il retombe dans son immobilité. Si l'on soulève ses membres, on constate qu'ils gardent, plusieurs minutes, des attitudes catatoniques. Mis debout, le malade n'a pas de troubles de l'équilibre, mais il marche raide et très droit, la tête rejetée en arrière, se déplaçant tout d'une pièce comme un automate ». La durée de cette période de torpeur est de plusieurs semaines et jusqu'à deux mois.

Un autre ordre de troubles de rang secondaire — symptômes de foyer — s'impose à l'attention : manifestations de lésions intéressant les origines des nerfs crâniens, particulièrement de la 6e paire (oculo-moteur commun) et de la 4e (pathétique), moins souvent de la 7e (facial), de la 9e (glosso-pharyngien) et de la 12e (grand hypoglosse). Apparaissant souvent dès la période prodromique — alors que la fièvre et la léthargie traduisent surtout la période d'état — ces symptômes consistent en une perturbation de la motricité et de l'association des mouvements

(1) Ch. Achard, prof. à la Fac. de méd. de Paris, *Les aspects cliniques de l'encéphalite léthargique* (Paris-Médical, 24 juillet 1920).

oculaires, accessoirement de la mimique de la face (paralysie faciale) et en embarras de la langue et troubles du langage. Un observateur attentif, le Dr Nelis (1), met en relief ce fait qu'à la différence de ce qui se passe pour d'autres affections encéphaliques (ictus, poliomyélite, méningite...) ces troubles se produisent d'une façon *progressive;* les plus saillants sont les troubles oculaires : diplopie (vision double), ophtalmoplégie (paralysie de tout un groupe de muscles oculo-moteurs), strabisme (loucherie), chute de la paupière supérieure ou ptosis, dilatation de la pupille ou mydriase, et paralysie de l'accommodation par paralysie du muscle ciliaire.

La *fièvre* est habituelle à la période d'état, mais ne s'élève guère au delà de 39° (40° dans les cas graves).

Tel est, dans ses traits essentiels, le tableau de la maladie ; aucun de ces symptômes, si saillants qu'ils soient, ne lui appartient en propre, et bien des expressions fonctionnelles ou accidents peuvent modifier, souvent aggraver, une marche qui doit compter, comme pour tout processus pathologique, avec de multiples facteurs (milieu, terrain, antécédents, etc.); le système nerveux central peut aussi être entamé par extension, dans plusieurs de ses départements fondamentaux : cervelet, bulbe, moelle épinière, d'où une complexité de troubles graves ; d'autres organes (poumons, cœur, tube digestif, etc.) peuvent être touchés à leur tour par répercussion ou infection secondaire. De là, des essais de classification en différentes formes cliniques, les unes basées sur la gravité, l'extension ou la bénignité de l'envahissement infectieux, d'autres sur la prédominance de certains symptômes ou l'existence de certaines lésions concomitantes ; il serait oiseux de nous y arrêter ici. Il n'en reste pas moins que l'association des déviations fonctionnelles qui viennent d'être citées, leur succession, leur mode d'apparition, leur physionomie générale paraissent bien autoriser leur étiquetage comme entêté morbide. On verra bientôt comment les résultats déjà acquis, quant à la localisation de la lésion initiale et à la nature virulente de l'affection, corroborent ces vues.

Si la mort peut être la terminaison de l'encéphalite léthargique (37 décès sur 168 cas d'après le rapport de Mac Nalthy), la guérison, d'autre part, ne laisse pas d'être laborieuse (1 à 3 mois) (2) et la convalescence comporte aussi des aléas, les

(1) Dr Nelis, « L'encéphalite léthargique ». REVUE MÉDICALE DE LOUVAIN, 15 janvier 1920.

(2) Nelis, *loc. cit.*

malades, dans les cas intenses, pouvant rester affaiblis psychiquement pendant longtemps.

Il est intéressant de noter que la maladie, dont le caractère épidémique n'est pas contesté (sans que la contagiosité soit démontrée) a presque toujours suivi ou accompagné une épidémie de grippe — et l'on sait le caractère virulent et souvent grave de celle-ci. C'est ainsi que l'épidémie dite *nona* qui sévit naguère, avons-nous dit, en Italie, survint au décours d'une épidémie d'influenza ; à Lyon, au début de la présente année (1) et dans notre pays, les deux invasions se superposèrent. C'est au point qu'une ligne de démarcation n'a pas toujours été établie entre elles (2). Il semble donc qu'un milieu d'infection grippale soit favorable à l'éclosion de l'épidémie d'encéphalite. Les centres urbains, avec leurs multiples sources de viciation, les terrains individuels congénitalement inférieurs ou déprimés par les privations, les soucis, les secousses morales telles que celles de la dernière guerre, jouent aussi un rôle étiologique non négligeable.

La nature infectieuse, virulente, du germe, non décelé encore et dont le mode de pénétration n'est pas davantage mis en lumière, ne peut faire de doute ; elle ressort de l'évolution clinique comme de l'anatomie pathologique (lésions). Parmi les signes cliniques, nous sommes frappés par cette somnolence, cette torpeur ou léthargie prolongée ; elle s'observe, d'ailleurs, mais avec des allures et modalités différentes ou associée à d'autres manifestations, dans d'autres états, tels que la maladie du sommeil et dans les nombreux cas d'encéphalite aiguë où, comme on l'a fort bien rappelé (3), l'on dort par défaut de réaction consécutif à la diminution de l'écorce du grand cerveau par des causes mécaniques ou toxi-infectieuses. Il y a là, toutefois, une indication quant au point de départ de cette toxhémie et les recherches qui ont été faites — autopsies et laboratoire — nous font déjà connaître des lésions, peu définies il est vrai quant à leur spécificité, mais suffisantes pour permettre de localiser le processus pathologique initial à l'isthme de l'encéphale ou mésocéphale, dans la substance grise de l'aqueduc de Sylvius avec

(1) V. Lyon médical, mars à juillet 1920. Communications et discussions à la Soc. méd. des hôpitaux et à la Soc. des Sc. médic. de Lyon.

(2 Lors de l'épidémie de Cologne de 1890 — rappelle le Dr Laruelle — Leichtenstern proposait de donner à la maladie le nom d'« Influenza-encephalitis » (Dr Léon Laruelle, « L'Encéphalite léthargique ». Scalpel, 21 février 1920.

(3) Dr Léon Laruelle, *loc. cit.*

extension jusqu'aux noyaux des nerfs crâniens, notamment de la 3e paire (oculo-moteur commun).

La pathologie expérimentale nous apporte d'intéressantes données : des inoculations du cerveau d'un sujet ayant succombé à l'encéphalite léthargique faites à un singe ont amené chez celui-ci des symptômes d'encéphalite avec sommeil profond et la mort en 48 heures ; dans les coupes du cerveau de l'autopsié et de celui de l'animal fut retrouvé le même diplocoque prenant le Gram et qui fut isolé par culture (Von Wiener). Des inoculations de produits de sécrétion filtrés, au singe, et au lapin, ont donné des résultats analogues à Strauss-Loëwe et à Hirschfeld.

Le traitement de l'encéphalite léthargique ne comporte guère que l'application des soins hygiéniques et thérapeutiques s'adressant aux maladies infectieuses en général, et aux accidents qu'elles entraînent ; la désinfection des premières voies (nasopharynx) doit être envisagée. Une médication, pourtant, rencontre beaucoup de suffrages et semble avoir amené, dans des cas sérieux, d'importants résultats : les injections intraveineuses d'urotropine (Hexaméthylénetétramine).

Le Cancer. — Alors que des affections générales dites infectieuses et épidémiques, la fièvre typhoïde, le choléra, la variole, alors que des états organiques à agent microbien, la tuberculose, la syphilis, ont rencontré, grâce à la connaissance de l'agent qui les détermine et à l'application de la sérothérapie et de la vaccination, un obstacle puissant à leur développement, le cancer, ce fléau qui a fait l'épouvante de tant de générations, conserve son masque impénétrable, et semble se jouer de tous les efforts de la science et décourager toutes les espérances. Il y a toujours un problème, une question du cancer.

Dans de solennelles assises consacrées naguère à cette question, à Bruxelles, le Professeur T. Debaisieux — dont la Société scientifique comme l'Université de Louvain pleure la mort récente — prononçait un discours magistral qui débutait par ces attristantes paroles : « Le cancer est une énigme. Depuis longtemps, la science s'efforce d'en pénétrer le secret, et bien que les travaux accumulés par de nombreux chercheurs aient enrichi nos annales de notions extrêmement intéressantes sur ses caractères et son évolution, sa nature intime se dérobe à nos investigations. En attendant, il multiplie ses ravages dans toutes les classes de la société. Ses victimes sont partout, dans les salles de nos hôpitaux qu'elles emplissent, et dans les plus

somptueuses demeures, aussi bien que dans les plus modestes chaumières. Leur foule anxieuse dirige vers nous ses regards en implorant le remède, non pas le remède qui calme la douleur physique et endort la douleur, mais le remède qui guérit. Hélas ! que de déceptions ! Jusqu'ici la médecine et la chirurgie ont eu beau se donner la main pour tâcher de vaincre le fléau : trop souvent encore, c'est lui qui reste le plus fort... » (1).

L'exposé succinct qui va suivre fera connaître la raison qui paraît expliquer ce retard, ces délais, ces pénibles tâtonnements ; il vise à énoncer comment le problème du cancer se pose, ce qu'on sait de son développement, de sa marche, de sa nature, des moyens de traitement à employer pour l'enrayer. Parmi les écrits qui ne cessent de s'accumuler sur ce sujet, se détache précisément une remarquable et récente mise au point due au Professeur H. Hartmann, de la Faculté de médecine de Paris ; nous ne saurions prendre un meilleur guide ; aussi lui ferons-nous de larges emprunts (2).

Quelle est la mortalité du cancer, et cette mortalité progresse-t-elle ? Question angoissante à laquelle répondent des statistiques très suggestives, celles surtout de Bertillon, dont on sait l'autorité, et d'Hoffmann (Amérique). Ces recherches ont porté sur trente années : 1881 à 1912 pour la population totale de la Grande Bretagne, la Norwége, la Hollande, la Prusse, le pays de Bade, la Suisse, l'Autriche, les villes du Danemark, l'Australie et la Nouvelle-Zélande. En opérant sur 100.000 habitants, et en tenant compte de l'augmentation de la population totale de ces pays (celle-ci étant de 98.380.000 en 1881 et de 136.892.000 en 1912), la conclusion s'impose que la mortalité y a plus que doublé durant cette période de trente années (44,8 pour 100.000 en 1881 et 91,9 en 1912). Partout cette progression s'est fait sentir, sauf en Suisse, pays qui compte, cependant, la mortalité générale la plus élevée (128,3 pour 100.000 de 1901 à 1905, et seulement 125,9 pour la période 1906 à 1910). Dans la seule ville de Paris, elle est également manifeste : 94 morts sur 100.000 habitants de 1876 à 1880, et jusqu'à 95 morts pour la période 1881 à 1910. Cette augmentation porte surtout sur les cancers du tube digestif.

(1) Discours inaugural de la troisième Conférence internationale pour l'Étude du Cancer, organisée par l'Association internationale pour l'étude du cancer et la Commission belge du cancer, tenue à Bruxelles du 1r au 5 août 1913.

(2) Conférence devant la Société des amis de l'Université. REVUE SCIENTIFIQUE, 24 avril 1920.

Si l'on envisage la mortalité comparée par pays, la Suisse apparaît comme la contrée la plus atteinte : moyenne de 125,9 sur 100.000 habitants, par année, de 1906 à 1910; puis viennent, par ordre de régression, la Hollande 102,9, l'Écosse 99,7, l'Angleterre 94, l'Allemagne 84,1, l'Irlande 78,9, l'Autriche 78, la France 75, les Etats-Unis 65,7, l'Italie 63,6, l'Espagne 49,9.

Cette mortalité varie dans le même pays, suivant la région ; le fait a surtout été constaté en France : alors que toute une série de départements groupés dans le N.-E. révèle une mortalité dépassant la moyenne (*carré fatal*, de Bertillon), un autre groupe (La Rochelle, St-Étienne, Rhône) est plus épargné (*carré béni*) : dans le premier secteur, la mortalité oscille autour de 100 décès annuels pour 100.000 habitants : autour de 30 seulement dans le second (12 et même 8 dans le Lozère et dans l'Aveyron). La raison de ces contrastes a été recherchée dans la constitution du sol, dans l'eau de la région (eaux de surface peu remuées, exposées à la lumière et favorables au développement de protozoaires), dans la race (la race juive a été incriminée), dans le genre de vie et d'alimentation (vie plantureuse : le quartier riche West-End, à Londres, plus atteint que les quartiers pauvres de l'East-End) : mais aucune de ces interprétations ne se justifie pleinement.

Le siège anatomique, la nature de l'organe envahi intervient aussi ; on observe, par ordre de mortalité, le cancer de l'estomac, le cancer des organes génitaux de la femme, le cancer des intestins et du rectum, le cancer du sein.

L'âge et le sexe ont leur influence : rare avant l'âge de 20 ans, le cancer sévit après 40 ans et surtout après 50 ans. Le cancer amène une mortalité plus grande chez la femme, à cause de la fréquence, chez elle, du cancer des organes génitaux et des seins. Mais pour les cancers d'organes similaires, la mortalité est plus grande chez l'homme, dont les habitudes et le mode de travail ouvrent la porte à des poussées cancéreuses (épithélium de la cavité buccale chez les fumeurs, lésions cancéreuses tégumentaires par le travail musculaire).

Nature du cancer. Nous sommes ici au centre du mystère : pourquoi et comment ces productions et ces tumeurs résistent-elles avec opiniâtreté à toutes les investigations? Pour répondre à cette question, il faut considérer leur origine, leur marche, leur développement : une différence radicale distingue ces néoplasmes malins des autres tumeurs. Celles-ci, sous l'influence d'une poussée mal définie, le plus souvent d'un agent infectieux

ou parasitaire, se constituent en multipliant ou faisant proliférer *les éléments cellulaires où elles se trouvent;* elles ne s'y développent pas indéfiniment, restant distinctes de ces éléments, parfois même entourées d'une membrane capsulaire ; elles ne sont pas « envahissantes » et n'essaiment pas dans le voisinage ni au loin, dans d'autres organes; si l'on voit à la 3me période de la syphilis se produire, de-ci, de-là, des « gommes », c'est en vertu de l'action initiale du virus syphilitique, représenté — on le sait maintenant — par un microorganisme, le spirochète de Schaudinn. Dans l'évolution du cancer, rien de semblable : ici, par un mécanisme unique dans l'histoire des processus pathologiques, c'est la *cellule même* du foyer cancéreux qui, après avoir proliféré sur place et y avoir subi différentes transformations, généralement dans le revêtement cutaneo-muqueux de la peau et des muqueuses, se dépose, pour peu que les circonstances s'y prêtent, dans les tissus voisins, pénètre par le courant et les voies lymphatiques, en s'attardant, comme à des relais, aux groupes ganglionnaires, dans les différents tissus et organes de l'économie, où on la retrouve avec l'aspect même qu'elle revêtait dans le néoplasme initial ; douée d'une puissance prolifique et destructive sans égale, elle reste elle-même, remarquable par son indépendance de l'organisme qu'elle a envahi et par sa « tendance à s'affranchir du plan d'organisation, pour se comporter en véritable parasite » (1). Par cette faculté de prolifération et d'essaimage au loin, outre les désordres et destructions locales, la cellule maligne agit comme un agent toxique qui triomphe de toutes les résistances vitales et conduit à la cachexie et à la mort. Ne voit-on pas là une évolution à part, « quelque chose qui déconcerte et qui fait du cancer une maladie bien à part et sans analogie en pathologie » ? Ici, comme le fait encore si vivement ressortir Debaisieux, « ce sont nos propres cellules qui, soustraites, on ne sait ni comment ni pourquoi, à la puissance directrice qui règle la belle ordonnance de l'économie, se dérobent à toute fonction utile et conservent néanmoins assez de vie pour pulluler à la façon d'un parasite, et finalement envahir, décomposer et détruire l'organisme à la conservation duquel elles avaient pour mission de contribuer » (2). Quoi d'étonnant, dès lors, si les procédés ordinaires de recherches, inspirés par la microbiologie et l'expérimentation, qui donnent des solu-

(1) Ménétrier.
(2) Professeur Debaisieux, *loc. cit.*

tions à d'autres pressants problèmes, nous laissent dépourvus devant celui-ci ? Un fait, toutefois, est bien établi aujourd'hui : le cancer a une première origine *locale*, et c'est là une donnée consolante, puisqu'elle implique la possibilité d'une guérison.

D'autre part, l'observation clinique a depuis longtemps montré une relation entre certaines irritations répétées ou inflammations chroniques, voire certains traumatismes, et l'éclosion de l'épithéliome ou cancer : ulcération de la langue au niveau d'une dent cariée, ulcération du col de la matrice, ulcère de l'estomac, leucoplasie de la cavité buccale, certaines dermatoses de longue durée, autant de stimulations ou « causes occasionnelles » de sa production et de sa prolifération. Les cancers professionnels : cancers cutanés des ramoneurs, cancer pulmonaire des mineurs, plus récemment cancer des radiologues (par transformation de radiodermites des mains) sont dus à un mécanisme analogue, soit que le terrain leur ait été simplement préparé par ces facteurs d'irritation, soit qu'ils en soient l'aboutissant naturel ; c'est ce qu'il importerait d'élucider. Les uns voudraient que la cellule épithéliale ait subi une altération profonde, par perte d'un élément essentiel à son évolution physiologique, la transformant en un élément de désorganisation et de mort ; pour d'autres, un agent délétère nouveau a pénétré dans la cellule et a été le point de départ de la déviation fatale. Cette dernière interprétation, plus simpliste, mais mieux adaptée aux conceptions admises sur la genèse des infections morbides, semble avoir surtout inspiré et guidé les chercheurs.

Une *théorie parasitaire* du cancer a été échafaudée et reste en faveur. Cet agent parasitaire ou microorganisme se dérobe jusqu'ici aux explorations : on n'a trouvé encore que des apparences de parasites, de simples modifications de l'aspect cellulaire ; on a vu la différence radicale qui semble séparer de l'invasion et de la migration cancéreuses les processus infectieux connus : chez ceux-ci, transport du microbe dans les tissus sur lesquels il agit ; chez les autres, transport de la cellule cancéreuse elle-même, du foyer de multiplication initial dans les organes. Mais cette différence pourrait trouver son explication, et c'est dans l'observation des faits et l'expérimentation patiente que l'on veut trouver la clef du problème.

Le cancer ne se transmet-il pas d'un organisme humain à un autre ? est-il « contagieux » ? et l'expérimentation sur les animaux ne conduirait-elle pas à admettre son « inoculabilité » ?

La contagion du cancer reste à démontrer, les faits qui de-

vraient l'étayer n'ont pas la précision et le caractère démonstratif désirables. On connaît, cependant, des « coïncidences » tout au moins singulières : un médecin est atteint d'un cancer de l'estomac après avoir dégluti des matières vomises par des cancéreux (Leyden, Naunyn) ; un mari dont la femme est porteuse d'un cancer, est contaminé à son tour (23 cas renseignés par Guelliot); nous-même avons assisté à l'évolution mortelle d'un cancer du sein chez une femme, jeune encore, qui venait de prodiguer ses soins à une parente victime d'un cancer des viscères abdominaux.

On a mentionné plus haut les cancers « géographiques ». *Des villages ou des parties de villages à cancer, des maisons à cancer* ont également été signalés (1). Et par contre, dans des milieux et des circonstances où cette transmission du mal devrait, ce semble, être un fait fréquent, elle ne se révèle pas : des dames charitables se consacrent journellement à soigner, de leurs mains, des cancers de toute nature, et restent indemnes (Hospice du Calvaire à Bruxelles).

L'expérimentation sur les animaux (souris) a donné des résultats intéressants : Moreau (1891) a obtenu chez la souris des greffes en séries. Ce n'est pas encore là l'inoculabilité, mais la démonstration du transfert d'un animal à un autre de même espèce ; un pas de plus a été fait par d'autres expérimentateurs (Apdaut, Haaland...) qui, au cours de semblables passages successifs, ont vu un cancer épithélial typique se transformer en sarcome, preuve qu'il y aurait plus qu'un simple bouturage de la tumeur initiale, puisque la cellule conjonctive, à son tour, est déviée suivant un type aberrant grâce à un agent nouveau. Les épidémies de cage de Borrel paraissent aussi plaider en faveur d'une contagion par inoculation parasitaire : toutes ou presque toutes les souris d'une cage sont contaminées dès qu'une tumeur a apparu sur l'une d'elles. Le parasite présumé interviendrait ici comme le font les irritations chroniques dont nous avons parlé; dans les deux cas la porte est ouverte à l'ennemi.

A l'appui de la conception parasitaire du cancer, on invoque aussi l'apparition, chez un même individu, simultanément ou à

(1) Parmi ces faits étranges, assez nombreux, citons celui-ci, bien suggestif, emprunté au Professeur Hartmann : il connaît à Paris une maison dans laquelle un locataire est mort d'un cancer de l'intestin, le concierge d'un cancer de l'estomac, et où il a opéré d'un cancer de la face une femme dont le mari est mort d'un cancer abdominal (Hartmann, *loc. cit.*).

peu d'intervalle, de plusieurs types histologiques différents. La pathologie végétale vient déposer, à son tour : d'après les recherches du phytopathologiste américain Matruchot, sur certains végétaux se rencontre une tumeur, la « galle de courenne » dont l'analogie, sinon l'identité, au point de vue de l'aspect et de l'évolution pathologiques, avec le cancer animal, est frappante ; il y aurait un cancer végétal dû à l'action d'une bactérie vivant à l'intérieur de la cellule proliférante. Pourquoi ne se passerait-il pas quelque chose de semblable dans la cellule épithéliale animale en multiplication ?

Ce n'est pas tout : si l'on peut provoquer par inoculation des greffes cancéreuses en séries chez la souris, on est à même d'arrêter leur développement, de guérir le cancer de la souris : von Wasserman a obtenu cet effet (1911) par le sélénium-éosine. Il se trouverait donc, au moins pour les souris, un agent capable de détruire la cellule cancéreuse sans détriment pour l'organisme qui l'héberge.

Ces observations, si peu décisives soient-elles, quant à la contagiosité, à la nature parasitaire et à l'inoculabilité du cancer, ne sont nullement négligeables. Il est bien vrai qu'il ne s'agit que d'expérimentation sur une espèce animale, que l'agent microbien présumé n'est pas isolé, que ces cancers expérimentaux n'ont été obtenus qu'en inoculant des cellules cancéreuses, que l'on en est toujours réduit à des analogies conjecturales, que ce « nescio quid » qui fait de la cellule cancéreuse un élément aberrant, irréductible aux types pathologiques communs, n'est nullement dégagé ; mais il ne saurait être interdit de continuer avec persévérance dans cette voie, et l'on se rappellera qu'une affection à virus, autrement répandue, et transmissible, la syphilis, a contredit bien des théories génétiques et déconcerté bien des observateurs jusqu'au jour tardif où des recherches patientes et rationnelles selon les procédés de la microbiologie expérimentale, ont mis en évidence l'agent causal de ce fléau séculaire, non moins mystérieux et redoutable, le spirochète (Schaudinn 1905).

En attendant que ce problème soit résolu et qu'une prophylaxie et un traitement sûrs et décisifs par la vaccination et la séro-thérapie puissent être dirigés contre le cancer, il faut recourir à des moyens trop souvent, hélas ! palliatifs et décevants, mais où cependant un empirisme intelligent et une observation judicieuse ont permis d'obtenir quelques succès encourageants ; des mesures de préservation, des ligues contre le cancer s'im-

posent aussi, pour enrayer dans la mesure du possible, l'extension d'un mal qui en France seulement, fait par an plus de 32.000 victimes.

Ce sera l'objet d'un prochain article.

Dr R. W.

ERRATUM

Dans l'article du R. P. Bosmans *Sur les recherches relatives à la formation des «Eléments d'Euclide»* (t. LXXVII, avril 1920) une distraction dans la correction des épreuves a occasionné la permutation de deux noms propres de nature à induire en erreur. Dans la note (1) de la p. 434, il faut lire *Simplicius* au lieu de *Geminus ;* il faut, au contraire, lire *Geminus* au lieu de *Simplicius* dans le premier paragraphe et à la dernière ligne de la p. 435.

TABLE DES MATIÈRES

DU

VINGT-HUITIÈME VOLUME (TROISIÈME SÉRIE)

TOME LXXVIII DE LA COLLECTION

Livraison de Juillet 1920

LA CHIMIE DE GUERRE DE 1914 A 1918, par **M. Georges Lemoine** 5

LES IDÉES ACTUELLES SUR LA CONSTITUTION DE LA MATIÈRE, par **M. J. Tillieux**. 26

L'ÉLECTRICITÉ SUBSTANCE OU ACCIDENT ? par **M. A. Witz** . 65

COMMENT ON ENTENDAIT LE CANON, par le **R. P. V. Schaffers, S. J.** 102

L'ÉVOLUTION DES REPTILES ET L'ORIGINE DES MAMMIFÈRES, par **M. Achille Salée** 122

LA FONDATION D'UNE FOURMILIÈRE, par le **R. P. R. De Simpel, S. J.** 149

VARIÉTÉS. — I. Quel fut l'auteur du « De quadrante geometrico libellus » édité à Nüremberg, en 1594, aux frais de Corneille de Jode, par le **R. P. H. Bosmans, S. J.** 167

II. Psychopathologie de guerre, par le **R. P. J. Maréchal, S. J.** 179

III. Le centenaire du P. Secchi, par **L.** 214

BIBLIOGRAPHIE. — I. Théorie des erreurs d'observation et éléments du calcul des probabilités, par P. J. E. Goedseels, **M. Alliaume** 225

II. Leçons de calcul des probabilités, par E. J. Boudin, **M. Alliaume** 231

III. Traité des courbes spéciales remarquables, planes et gauches, par F. Gomes Texeira, **H. Bosmans, S. J.** 235

IV. Ptolemy's catalogue of stars, par F. Peters et E. Knobel, **H. Bosmans, S. J.** 238

V. Les révélations du dessin et de la photographie de guerre, par le Lt-Colonel Andrieu, **M. A.** . . 242
VI. L'origine des formes de la Terre et des Planètes, par E. Belot, **D. T.** 242
VII. Problèmes astronomiques, par le Lt-Colonel Delauney, **M. A.** 245
VIII. Petit atlas céleste, par G. Bigourdan, **M. A.** . . 246
IX. Cours de physique générale, par H. Ollivier, **H. D.** 247
X. Traité de la lumière, par Christian Huyghens, **D. T.** 249
XI. Die Atomtheorie in ihrer neuesten Entwickelung, par Leo Graetz, **R. S.** 250
XII. Leçons de physique générale, par J. Chappuis et A. Berget, **V. S.** 251
XIII. The realities of modern science, par J. Mills, **M. Lecat** 251
XIV. La molécule chimique, par R. Lespieau, **J. Pauwels, S. J.** 253
XV. Histoire de la Chimie, par Maurice Delacre, **J. Pauwels, S. J.** 255
XVI. Les progrès de la chimie en 1918, par André Kling, **J. Pauwels, S. J.** 257
XVII. Popular chemical dictionary, par C. T. Kingzett, **J. P.** 260
XVIII. Correlaciones matematico-fisico-quimicas, par G. de Galdeano, **M. Lecat.** 260
XIX. Traité pratique de sylviculture, par L. Chancerel, **E. D. W.** 261
XX. Le bilan géographique de 1914-1919, par Paul Dalle, **L.** 264
XXI. Essai de géographie économique du Canada, par H. Laureys, **J. C.** 266
XXII. Les entreprises industrielles, par André Liesse, **V. F.** 266
XXIII. Cours de législation du travail et de prévoyance sociale, par Daniel Massé et Bovier-Lapierre, **V. F.** 267
XXIV. Fuel production and utilization, par H. S. Taylor, **J. P.** 268
XXV. L'unité de la science, par M. Leclerc du Sablon, **D. T.** 270
XXVI. La vie, mode du mouvement, par E. Préaubert, **J. Maréchal, S. J.** 272
XXVII. Le problème de l'espace, par L. Alvarez de Toledo, **H. D.** 275
XXVIII. Il Trattamento morale dello scrupulo e dell' ossessione morbosa, par M. Natale Turco, **J. Maréchal, S. J.** 277

XXIX. La Raison et la vue, par Frank Grandjean, **E. M.** 278
XXX. Mémoires sur la respiration et la transpiration des animaux, par A. L. Lavoisier. Observations et expériences faites sur les animalcules des infusions, par L. Spallanzani. **F. W.** 279
XXXI. Recettes domestiques et rurales 280
XXXII. Iberica 281
REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES.
HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES, par le **R. P. H. Bosmans, S. J.** 282
CHRONIQUE AGRICOLE, par **M. A. Proost** 297

Livraison d'Octobre 1920

S. S. BÉNOIT XV ET LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES . 303
L'ÉLECTRICITÉ, SUBSTANCE OU ACCIDENT ? (*Suite*), par **M. A. Witz** 305
LA NOTION ET LA MESURE DE LA FORCE, SPÉCIALEMENT A PROPOS DE LA GRAVITATION UNIVERSELLE (*Suite et fin*), par **M. E. Pasquier** 327
COMMENT ON ENTENDAIT LE CANON (*Suite et fin*), par le **R. P. V. Schaffers, S. J.** 345
LE JEÛNE CHEZ LES FOURMIS, par le **R. P. R. De Simpel, S.J.** 368
VARIÉTÉS. — I. Progrès récents de la physique atomique, par le **R. P. H. Dopp, S. J.** 379
II. Araignées et paludisme, par le **R. P. Paul Camboué, S. J.** 405
III. Georges Halphen, par le **R. P. B. Lefebvre, S. J.** 416
IV. Les médications psychologiques d'après le Dr Pierre Janet, par le **R. P. J. Maréchal, S. J.** 436
BIBLIOGRAPHIE. — I. Lectures on the Theory of plane curves, par Surendramohan Ganguli, **L. Casteels** 446
II. Leçons de géométrie supérieure, par E. Vessiot, **M. O.** 450
III. The Theory of Determinants in the historical order of development, par Thomas Muir, **M. Lecat** . 454
IV. Euclid in Greek, par L. Heath, **B. L.** 457
V. William Oughtred, par Florian Cajoli, **H. Bosmans, S. J.** 461
VI. De Sterre der Wijzen, par H. Sloet, **H. Bosmans, S. J.** 466
VII. Cours d'Astronomie, par M. Alliaume, **F. W.** . 467
VIII. Essai d'astrométéorologie, par A. Nodon, **M. A.** 472

IX. Leçons élémentaires de Physique expérimentale, par J. Tillieux 473
X. I fenomeni elettro — atomici sotto l'azione del magnetismo, par A. Righi, **H. D.** 475
XI. La fisica dei corpuscoli. Molecole. Atomi. Elettroni, par G. Gianfranceschi, **H. D.** 478
XII. Thermo dynamics for engineers, par J. A. Ewing, **D. T.** 479
XIII. Le soufflage du verre, par Henri Vigreux, **V. S.** 480
XIV. Éléments de télégraphie sans fil pratique, par F. Duroquier, **E. Lebas**. 481
XV. Les Colloïdes, par J. Duclaux, **F. S.** 482
XVI. Bibliografia general de Tremblores y terremotos, par F. de Montessus de Ballore, **G. Delépine**. . 489
XVII. Causeries sur des questions d'hygiène morale, par le Dr Xavier Francotte, **L. P.** 490
XVIII. Le dottrine moderne della delinquenza, par Ag. Gemelli, **J. C.** 491
XIX. Le problème de l'évolution, par Adolf Spaldak, **J. M.** 492
XX. La responsabilité, par Paul Fauconet, **J. M.** . . 493
XXI. The group mind, par William Mac Donyall, **L. Watt, S. J.** 496
XXII. Archivio Italiano di psicologia, par F. Kiesow et A. Gemelli 497
XXIII. Pax Economica, par Henri Lambert, **V. F.** . . 498
XXIV. La science et l'industrie françaises en 1919-1920, par H. Willotte, **J. C.** 490
XXV. La crise du combustible et ses remèdes, par A. Witz, **F. G.** 499
XXVI. Du rôle de la mémoire dans nos conceptions métaphysiques, esthétiques, passionnelles, actives, par E. d'Eichtal, **J. M.** 500
XXVII. Non-aristotelian Logic, par Henry Bradford Smith, **R. L.** 501
XXVIII. Le système d'Aristote par O. Hamelin, **H. Thielemans, S. J.** 501
XXIX. La part des croyants dans le progrès de la science au XIXe siècle, par Antonin Eymieu, **François Jansen, S. J.** 503

Revue des Recueils périodiques.

Bulletin de Pathologie, par M. le Dr **R. W.** . . . 508

Louvain. — Imp. F. Ceuterick, rue Vital Decoster, 60.

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE

TOME XXVIII — 20 JUILLET 1920

(TRENTE-NEUVIÈME ANNÉE ; TOME LXXVIII DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(M. F. Willaert)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11

1920

LIVRAISON DE JUILLET 1920

I. — LA CHIMIE DE GUERRE DE 1914 A 1918, par **Georges Lemoine,** Membre de l'Institut, p. 5.

II. — LES IDÉES ACTUELLES SUR LA CONSTITUTION DE LA MATIÈRE, par **J. Tilliéux**, p. 26.

III. — L'ÉLÉCTRICITÉ SUBSTANCE OU ACCIDENT? par **A. Witz,** Correspondant de l'Institut, p. 65.

IV. — COMMENT ON ENTENDAIT LE CANON, par **V. Schaffers, S. J.,** p. 102.

V. — L'ÉVOLUTION DES REPTILES ET L'ORIGINE DES MAMMIFÈRES, par **Achille Salée,** Professeur de Paléontologie à l'Université de Louvain, p. 122.

VI. — LA FONDATION D'UNE FOURMILIÈRE, par **R. De Simpel, S. J.,** p. 149.

VII. — VARIÉTÉS. — I. *Quel fut l'auteur du « De quadrante geometrico libellus » édité à Nuremberg, en 1594, aux frais de Corneille de Jode?* par **H. Bosmans, S. J.**, p. 167 — II. *Psychopathologie de guerre*, par **J. Maréchal, S. J.**, p. 179. — III. *Le Centenaire du P. Secchi*, par **L.**, p. 214.

VIII. — BIBLIOGRAPHIE. — I. Théorie des erreurs d'observation et éléments du calcul des probabilités, par P. J. E. Goedseels, **M. Alliaume**, p. 225. — II. Leçons de calcul des probabilités, par E. J. Boudin, publiées avec des notes et des additions, par Paul Mansion, **M Alliaume**, p. 231. — III. Traité des courbes spéciales remarquables, planes et gauches, par F. Gomes Teixeira. Tome III (supplément), **H. Bosmans, S. J.**, p. 235. — IV. Ptolemy's Catalogue of Stars. A Revision of the Almagest by Christian Heinrich Friedrich Peters, and Edward Bull Knobel, **H. Bosmans, S. J.**, par 238. — V. Les révélations du dessin et de la photographie à la guerre, principes de métrographie, par le Lieutenant-Colonel Andrieu, **M. A.**, 242. — VI. L'origine des formes de la Terre et des Planètes, par E. Belot, **D. T.**, p. 242. — VII. Problèmes astronomiques, par le Lieutenant-Colonel Delauney, **M. A.**, p. 245. — VIII. Petit Atlas céleste, par G. Bigourdan, **M. A.**, p. 246. — IX. — Cours de physique générale, par H. Ollivier. Tome troisième, **H. D.**, p. 247. — X. Traité de la lumière, par Christian Huyghens, **D. T.**, p. 249. — Die Atomtheorie in ihrer neuesten Entwickelung, par Leo Graetz, **R. S.**, p. 250. — XII. Leçons de Physique générale, par James Chappuis et Alphonse Berget. Tomes II. Électricité et Magnétisme. 3e édit., **V. S.**, p. 251. — XIII. The realities of modern science. An introduction for the general reader, par J. Mills, **M. Lecat**, p 251. — XIV. La molécule chimique, par R. Lespieau, **J. Pauwels, S. J.**, p. 253. — XV. Histoire de la chimie, par Maurice Delacre, **J. Pauwels, S. J.**, p. 255. — XVI. Les progrès de la chimie en 1918, traduction française des Annual Reports on the Progress of Chemistry for 1918, publiée par André Kling, **J. Pauwels, S. J.**, p. 257. — XVII. Popular chemical dictionary, par C. T. Kingzett, **J. P.**, p. 260. — XVIII. Correlaciones matematico-fisico-quimicas, par Zoël G. de Galdeano, **M. Lecat**, p. 260. — XIX. Traité pratique de sylviculture par L. Chancerel. — Flore forestière du globe, par L. Chancerel, **E. D. W.**, p. 261. — XX. Le Bilan géographique de 1914-1919, par Paul Dalle, **L.**, p. 264. — XXI. Essai de géographie économique du Canada, par H. Laureys, **J. C.**, p. 266. — XXII. Les entreprises industrielles. Fondation et direction, par André Liesse, **V. F.**, p 266. — XXIII. Cours de Législation du travail et de prévoyance sociale, par Daniel Massé et Bovier-Lapierre, 9e éd., **V. F.**, p. 267. — XXIV. Fuel Production and Utilization, par Hugh S. Taylor, **J. P.**, p. 268. — XXV. L'unité de la Science, par M. Leclerc du Sablon, **D T**, p 270. — XXVI. La vie mode de mouvement Essai d'une théorie électronique des phénomènes vitaux, par E. Préaubert, **J. Maréchal, S J.**, p 272. — XXVII. Le problème de l'Espace, par L. Alvarez de Toledo, **H. D.**, p. 275 — XXVIII. Il Trattamento morale dello Scrupulo e dell' Ossessione morbosa, par M. Natale Turco, **J. Maréchal, S. J.**, p. 277. — XXIX. La Raison et la Vue, par Frank Grandjean, **E. M.**, p. 278. — XXX. Mémoires sur la respiration et transpiration des animaux, par André-Laurent Lavoisier. — Observations et expériences faites sur les animalcules des infusions, par Lazare Spallanzani, **F. W.**, p. 279. — XXXI. Recettes domestiques et rurales, p. 280. — XXXII. Iberica, p. 281.

Liste des ouvrages dont la Revue publiera l'analyse dans une prochaine livraison, p 281.

IX. — REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. — Histoire des Mathématiques, par **H. Bosmans, S. J.**, p. 282. — Chronique agricole, par **A. Proost**, p. 297.

PUBLICATIONS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, t. I à t. XXXVIII, 1875 à 1914. Chaque vol. in-8° de 400 à 600 pages fr. **20 00**

TABLE ANALYTIQUE des vingt-cinq premiers volumes des ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE (1875-1901). Un vol. in-8° de 250 pages (1904), en vente au prix de . . . . . fr. **3 00**

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. Première série, 1877 à 1891. Trente volumes. Seconde série, 1892 à 1901. Vingt volumes. Troisième série, commencée en 1902. Les deux volumes annuels, de 700 pages in-8° chacun, ... fr. **20 00**

TABLE ANALYTIQUE des cinquante premiers volumes de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (1877-1901). Un vol. in-8° de XII-168 pages, petit texte (1904), en vente au prix de 5 fr.; pour les abonnés . . fr. **2 00**

Ph. Gilbert. Mémoire sur l'application de la méthode de Lagrange à divers problèmes de mouvement relatif. Deuxième édition (1889). Un vol. in-8° de 150 pages . . . . . fr. **11 25**

LA CRISE DU LIBRE-ÉCHANGE EN ANGLETERRE. Rapports de MM. G. Blondel, Ch. Dejace, A. Viallate, Emm. de Meester, P. de Laveleye, Éd. Van der Smissen. Brochure in-8° de 121 pages (1905). . fr. **2 00**

LES PORTS ET LEUR FONCTION ÉCONOMIQUE : T. I. *Introduction*, Éd. Van der Smissen. I. *La Fonction économique des Ports dans l'Antiquité grecque*, H. Francotte. II. *Bruges au Moyen âge*, G. Eeckhout. III. *Barry*, H. Laporte. IV. *Beira*, Ch. Morisseaux. V. *Liverpool*, P. de Rousiers. VI. *Anvers*, E. Dubois et M. Theunissen. VII. *Les Ports et la vie économique en France et en Allemagne*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 183 pages, figures et plans (Épuisé). — **T. II.** VIII. *Londres*, G. Eeckhout. IX. *Délos*, A. Roersch. X. *Rotterdam*, J. Charles. XI. *Gênes au Moyen âge*, J. Hanquet. XII. *Marseille*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 123 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. III.** XIII. *Le Port moderne de Gênes*, M. Theunissen. XIV. *Ostende*. L.-Th. Léger. XV. *Jaffa*, P. Gendebien. XVI. *Lisbonne*, Ch. Morisseaux. XVII. *Le Havre*, G. Blondel. XVIII. *Hambourg*, P. de Rousiers et J. Charles. XIX. *Rio-de-Janeiro*, F. Georlette. XX. *Han-Kow*. A. Vanderstichele. Prix : 3 francs. — **T. IV.** XXI. *Barcelone et Bilbao*, J. Charles. XXII. *Buenos-Aires*, M. Theunissen. XXIII. *Brême*, J. Charles. XXIV. *New York*, Paul Hagemans. XXV. *Le Port de Pouzzoles dans l'Antiquité, d'après un livre récent*, Alphonse Roersch. XXVI. *Shanghaï*, A. A. Fauvel. XXVII. *Zeebrugge*, J. Nyssens-Hart. Un vol. in-8° de 184 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. V.** XXVIII. *Rouen*, G. Blondel. XXIX. *Montréal*, M. Dewavrin. XXX. *Seattle et Tacoma*, M. Rondet-Saint. XXXI. *Trieste, Fiume, Venise*, M. Dewavrin. XXXII. *Venise au Moyen âge*, C. Terlinden. XXXIII. *Les ports du Nord-Est de l'Angleterre*, J. Meuwissen. — *Conclusions*, G. Blondel. — *Appendices : L'administration des Ports*, J. Charles, S. J. - *L'industrie des transports maritimes*, H. Mansion. Prix : 3 francs

SUR QUELQUES POINTS DE MORALE SEXUELLE DANS SES RAPPORTS AVEC LA MÉDECINE. Rapport de M. le Dr X. Francotte. Brochure in-8° de 48 pages (1907) . . . . . fr. **0 75**

DE LA DÉPOPULATION PAR L'INFÉCONDITÉ VOULUE. Rapport de M. le Dr Henri Desplats, et discussion. Brochure in 8° de 29 pages (1908) fr. **0 75**

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE PAR

LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

TROISIÈME SÉRIE

Cette revue de haute vulgarisation, fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, se compose actuellement de deux séries : la **première série** comprend 30 volumes (1877-1891) ; la **deuxième**, 20 volumes (1892-1901). La livraison de janvier 1902 a inauguré la **troisième série.**

La revue paraît en livraisons trimestrielles, à la fin de janvier, d'avril, de juillet et d'octobre. Chaque livraison renferme trois parties principales.

La **première partie** se compose d'**Articles originaux**, où sont traités les sujets les plus variés se rapportant à l'ensemble des sciences mathématiques, physiques, naturelles, sociales, etc.

La **deuxième partie** consiste en une **Bibliographie scientifique**, où l'on trouve un compte rendu détaillé et l'analyse critique des principaux ouvrages scientifiques récemment parus.

La **troisième partie** consiste en une **Revue des Revues et des Publications périodiques**, où des écrivains spéciaux résument ce qui paraît de plus intéressant dans les archives scientifiques et littéraires de notre temps.

Chaque livraison contient ordinairement aussi un ou plusieurs articles de **Variétés.**

CONDITIONS D'ABONNEMENT

Le prix d'abonnement à la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES est de **25 francs** par an pour la Belgique et pour la France ; de **40 francs** pour les autres pays. Les membres de la Société scientifique de Bruxelles paient **25 francs**, en Belgique et en France (**40 francs** avec la cotisation); **30 francs**, dans les autres pays (**45 francs** avec la cotisation).

Table analytique des cinquante premiers volumes de la REVUE. Un vol. du format de la REVUE de XII-168 pages. Prix : 5 francs ; pour les abonnés, 2 francs.

Des volumes isolés seront fournis aux nouveaux abonnés à des conditions très avantageuses.

S'adresser pour tout ce qui concerne la **Rédaction** *et l'*Administration *au Secrétariat de la Société scientifique, 11, rue des Récollets, Louvain.*

Une Notice sur la Société scientifique, son but, ses travaux, est envoyée gratuitement à ceux qui en font la demande au Secrétariat.

Louvain. — Imp. F. Ceuterick, rue Vital Decoster, 60.

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE

TOME XXVIII — 20 OCTOBRE 1920

(TRENTE-NEUVIÈME ANNÉE ; TOME LXXVIII DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(M. F. Willaert)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11

1920

LIVRAISON D'OCTOBRE 1920

I. — S. S. BENOIT XV ET LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, p. 303.

II. — L'ÉLECTRICITÉ SUBSTANCE OU ACCIDENT ? (suite), par **A. Witz**, Correspondant de l'Institut, p. 305.

III. — LA NOTION ET LA MESURE DE LA FORCE, SPÉCIALEMENT A PROPOS DE LA GRAVITATION UNIVERSELLE (suite et fin), par **E. Pasquier**, p. 327.

IV. — COMMENT ON ENTENDAIT LE CANON (suite et fin), par **V. Schaffers, S. J.**, p. 345.

V. — LE JEUNE CHEZ LES FOURMIS, par **R. De Simpel, S. J.**, p. 368.

VI. — VARIÉTÉS. — I. *Progrès récents de la physique atomique*, par **H. Dopp, S. J.**, p. 379. — II. *Araignées et paludisme*, par **Paul Camboué, S. J.**, p. 405. — III. *Georges Halphen*, par **B. Lefebvre, S. J.**, p. 416. — IV. *Les Médications psychologiques d'après le Dr Pierre Janet*, par **J. Maréchal, S. J.**, p. 436.

VII. — BIBLIOGRAPHIE. — I. Lectures on the Theory of plane curves, par Surendramohan Ganguli, **L. Casteels**, p. 446. — II. Leçons de géométrie supérieure, par E. Vessiot, **M. O.**, p. 450. — III. The Theory of Determinants in the Historical Order of Development, par Thomas Muir, **M. Lecat**, p. 454. — IV. Euclid in Greek, par L. Heath, **B. L.**, p. 457. — V. William Oughtred, par Florian Cajori, **H. Bosmans, S. J.**, p. 461. — VI. De Sterre der wijzen, par H. Sloet, **H. Bosmans, S. J.**, p. 466. — VII. Cours d'Astronomie, par M. Alliaume, **F. W.**, p. 467. — VIII. Essai d'Astrométéorologie, par Albert Nodon, **M. A.**, p. 472. — IX. Leçons élémentaires de Physique expérimentale, par J. Tillieux, **D. T.**, p. 473. — X. I fenomeni elettro-atomici sotto l'azione del magnetismo, par Augusto Righi, **H. D.**, p. 475 — XI. La fisica dei corpuscoli. Molecole. Atomi. Elettroni, par G. Gianfranceschi, **H. D.**, p. 478. — XII. Thermodynamics for engineers, par J. A. Ewing, **D. T.**, p. 479. — XIII. Le soufflage du verre, par Henri Vigreux, **V. S.**, p 480. — XIV. Eléments de Télégraphie sans fil pratique, par F. Duroquier, **E. Lebas**, p. 481. — XV. Les Colloïdes, par J. Duclaux, **F. S.**, p. 482. — XVI. Bibliografia general de Tremblores y terremotos, par F. de Montessus de Ballore, **G. Delépine**, p. 489. — XVIII Causeries sur des questions d'hygiène morale, par Xavier Francotte, **L. P.**, p. 490. — XVIII. Le dottrine moderne della delinquenza, par Ag. Gemelli, **J. C.**, p. 491. — XIX. Le problème de l'évolution, par Adolf Spaldak, **J. M.**, p. 492. — XX. La Responsabilité, par Paul Fauconnet, **J. M.**, p. 493. — XXI. The Group mind, par William Mac Dougall, **L. Watt., S. J.**, p. 496. — XXII. Archivio Italiano di psicologia, par F. Kiesow et A. Gemelli, p. 497. — XXIII. Pax Economica, par Henri Lambert, **V. F.**, p. 498. — XXIV. La science et l'industrie françaises en 1919-1920, par H. Willotte, **J. C.**, p. 498. — XXV. La crise du combustible et ses remèdes, par A. Witz, **F. G.**, p. 499. — XXVI. Du rôle de la mémoire, par E. d'Eichtal, **J. M.**, p. 500. — XXVII. Non-aristotelian Logic, par H. Bradford Smith, **R. L.**, p. 501. — XXVIII. Le système d'Aristote, par O. Hamelin, **H. Thielemans, S. J.**, p. 501. — XXIX. La part des croyants dans le progrès de la science au XIXe siècle, par Antonin Eymieu, **François Jansen, S. J.**, p. 503.

Liste des ouvrages dont la REVUE publiera l'analyse dans une prochaine livraison, p. 507.

VIII. — REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. — Bulletin de Pathologie, par **Dr R. W.**, p. 508.

PUBLICATIONS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, t. I à t. XXXIX, 1875 à 1920. Chaque vol. in-8° de 400 à 600 pages fr. **20 00**

TABLE ANALYTIQUE des vingt-cinq premiers volumes des ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE (1875-1901). Un vol. in-8° de 250 pages (1904), en vente au prix de . . . . . fr. **3 00**

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. Première série, 1877 à 1891. Trente volumes. Seconde série, 1892 à 1901. Vingt volumes. Troisième série, commencée en 1902. Les deux volumes annuels, de 700 pages in-8° chacun . . . . . fr. **20 00**, fr. **40 00** à partir de 1920

TABLE ANALYTIQUE des cinquante premiers volumes de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (1877-1901). Un vol. in-8° de XII-168 pages, petit texte (1904), en vente au prix de 5 fr.; pour les abonnés . . fr. **2 00**

Ph. Gilbert. Mémoire sur l'application de la méthode de Lagrange à divers problèmes de mouvement relatif. Deuxième édition (1889). Un vol. in-8° de 150 pages . . . . . fr. **11 25**

DISCUSSION SUR LE FŒTICIDE MÉDICAL. Brochure in-8° de 38 pp. (1904) (épuisé) . . . . . fr. **1 00**

LA CRISE DU LIBRE-ÉCHANGE EN ANGLETERRE. Rapports de MM. G. Blondel, Ch. Dejace, A. Viallate, Emm. de Meester, P. de Laveleye, Éd. Van der Smissen. Brochure in-8° de 121 pages (1905). . fr. **2 00**

LES PORTS ET LEUR FONCTION ÉCONOMIQUE : T. I. *Introduction*, Éd. Van der Smissen. I. *La Fonction économique des Ports dans l'Antiquité grecque*, H. Francotte. II. *Bruges au Moyen âge*, G. Eeckhout. III. *Barry*, H. Laporte. IV. *Beira*, Ch. Morisseaux. V. *Liverpool*, P. de Rousiers. VI. *Anvers*, E. Dubois et M. Theunissen. VII. *Les Ports et la vie économique en France et en Allemagne*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 183 pages, figures et plans (Épuisé). — **T. II.** VIII. *Londres*, G. Eeckhout. IX. *Délos*, A. Roersch. X. *Rotterdam*, J. Charles. XI. *Gênes au Moyen âge*, J. Hanquet. XII. *Marseille*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 123 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. III.** XIII. *Le Port moderne de Gênes*, M. Theunissen. XIV. *Ostende*. L.-Th. Léger. XV. *Jaffa*, P. Gendebien. XVI. *Lisbonne*, Ch. Morisseaux. XVII. *Le Havre*, G. Blondel. XVIII. *Hambourg*, P. de Rousiers et J. Charles. XIX. *Rio-de-Janeiro*, F. Georlette. XX. *Han-Kow*. A. Vanderstichele. Prix : 3 francs. — **T. IV.** XXI. *Barcelone et Bilbao*, J. Charles. XXII. *Buenos-Aires*, M. Theunissen. XXIII. *Brême*, J. Charles. XXIV. *New York*, Paul Hagemans. XXV. *Le Port de Pouzzoles dans l'Antiquité, d'après un livre récent*, Alphonse Roersch. XXVI. *Shanghaï*, A. A. Fauvel. XXVII. *Zeebrugge*, J. Nyssens-Hart. Un vol. in-8° de 184 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. V.** XXVIII. *Rouen*, G. Blondel. XXIX. *Montréal*, M. Dewavrin. XXX. *Seattle et Tacoma*, M. Rondet-Saint. XXXI. *Trieste, Fiume, Venise*, M. Dewavrin. XXXII. *Venise au Moyen âge*, C. Terlinden. XXXIII. *Les ports du Nord-Est de l'Angleterre*, J. Meuwissen. — *Conclusions*, G. Blondel. — *Appendices : L'administration des Ports*, J. Charles, S. J. - *L'industrie des transports maritimes*, H. Mansion. Prix : 3 francs

SUR QUELQUES POINTS DE MORALE SEXUELLE DANS SES RAPPORTS AVEC LA MÉDECINE. Rapport de M. le Dr X. Francotte. Brochure in-8° de 48 pages (1907) . . . . . fr. **0 75**

DE LA DÉPOPULATION PAR L'INFÉCONDITÉ VOULUE. Rapport de M. le Dr Henri Desplats, et discussion. Brochure in 8° de 29 pages (1908) fr. **0 75**

Éd. de Moreau. La Bibliothèque de l'Université de Louvain « 1636-1914 ». Un vol. in-8° de 114 pp., avec 10 planches hors texte (1918) . fr. **4 00**

E. Ariès, correspondant de l'Institut. Thermodynamique. Propriétés générales des fluides. Un vol. in-8° de 68 pages (1920) . . . . . fr. **4 00**

B. Lefebvre, S. J. Notes d'Histoire des Mathématiques (Antiquité et Moyen-Age). Un vol. in-8° de IV-154 pages (1920) . . . . . fr. **3 00**

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE PAR

LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

TROISIÈME SÉRIE

Cette revue de haute vulgarisation, fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, se compose actuellement de deux séries : la **première série** comprend 30 volumes (1877-1891) ; la **deuxième**, 20 volumes (1892-1901). La livraison de janvier 1902 a inauguré la **troisième série**.

La revue paraît en livraisons trimestrielles, à la fin de janvier, d'avril, de juillet et d'octobre. Chaque livraison renferme trois parties principales.

La **première partie** se compose d'**Articles originaux**, où sont traités les sujets les plus variés se rapportant à l'ensemble des sciences mathématiques, physiques, naturelles, sociales, etc.

La **deuxième partie** consiste en une **Bibliographie scientifique**, où l'on trouve un compte rendu détaillé et l'analyse critique des principaux ouvrages scientifiques récemment parus.

La **troisième partie** consiste en une **Revue des Revues et des Publications périodiques**, où des écrivains spéciaux résument ce qui paraît de plus intéressant dans les archives scientifiques et littéraires de notre temps.

Chaque livraison contient ordinairement aussi un ou plusieurs articles de **Variétés**.

CONDITIONS D'ABONNEMENT

Le prix d'abonnement à la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES est de **25 francs** par an pour la Belgique et pour la France ; de **40 francs** pour les autres pays. Les membres de la Société scientifique de Bruxelles paient **25 francs**, en Belgique et en France (**40 francs** avec la cotisation); **30 francs**, dans les autres pays (**45 francs** avec la cotisation).

Table analytique des cinquante premiers volumes de la REVUE. Un vol. du format de la REVUE de XII-168 pages. Prix : 5 francs ; pour les abonnés, 2 francs.

Des volumes isolés seront fournis aux nouveaux abonnés à des conditions très avantageuses.

S'adresser pour tout ce qui concerne la **Rédaction** *et l'*Administration *au Secrétariat de la Société scientifique, 11, rue des Récollets, Louvain.*

Une Notice sur la Société scientifique, son but, ses travaux, est envoyée gratuitement à ceux qui en font la demande au Secrétariat.

Louvain. — Imp. F. Ceuterick, rue Vital Decoster, 60.

Bruxelles
22-88529

AMNH LIBRARY
100226278